

В.Н. Боков, В.Н. Воробьев, Л.Н. Карлин

АТМОСФЕРНЫЕ ВИХРИ И СЕЙСМИЧНОСТЬ НА ЛАДОГЕ

V.N. Bokov, V.N. Vorobiev, L.N. Karlin

ATMOSPHERIC WHIRLWINDS AND SEISMICITY ON LADOGA

Представлен анализ 3-х случаев изменения атмосферной циркуляции над Ладожским озером, предшествующего слабым сейсмическим событиям. Показано, что во всех случаях пространственное распределение атмосферных нагрузок на земную кору одинаково. В зависимости от сезона меняется место эпицентров сейсмических событий.

Ключевые слова: изменения атмосферной циркуляции, сейсмичность, поля деформации.

The analysis of three cases of change of atmospheric circulation over Lake Ladoga previous weak seismic events is submitted. It is shown that in all three cases, spatial distribution of atmospheric loadings to crust is identical. Depending on a season the place of epicenters of seismic events changes.

Key words: changes of atmospheric circulation, seismicity, deformation fields.

Опубликован ряд работ, посвященных сейсмичности на Ладожском озере [1–3]. В одной из последних публикаций [2] появление роя небольших землетрясений авторы пытались связать с прохождением урагана 29 июня 2010 г. Данный ураган повлиял на колебания уровня озера и вызвал длиннопериодную волну — сейшу, которая, в свою очередь, и привела к рою микроземлетрясений. Однако сейсмические события произошли позже после прохождения урагана почти за двое суток и через сутки после образования сейши. Следует отметить, что авторы [2] справедливо отметили возможность случайности прохождения урагана и сейсмического процесса. Основной же вывод авторов [2,3] сводился к тому, что высокочастотные сейсмические события на Ладоге привязаны к гидродинамическим явлениям.

Действительно выявлено, что в спектре сейсмических колебаний выделяется постоянный фон (сейсмический шум) в диапазоне частот от 0,05 до 100 Гц, названный микросейсмами. Источником микросейсм с частотами 0,05–0,5 Гц являются метеорологические процессы и волны на водной поверхности, которые усиливаются на порядок при прохождении атмосферных циклонов. Таким образом, эта часть сейсмических колебаний тесно связана с атмосферной циркуляцией, которая реагирует на изменения солнечной и геомагнитной активности [13].

Возвращаясь к статье [2], обратим внимание на изменения уровня воды на оз. Ладожское, временной ряд которых отражен на рис. 1. Кроме сейши и последующих колебаний уровня озера наблюдается тенденция падения уровня воды в течение 2 суток. Время землетрясения на графике отмечено стрелкой. На графике хорошо видно, что сейсмическое событие произошло на спаде уровня воды. Этот самый примечательный факт мы еще используем.

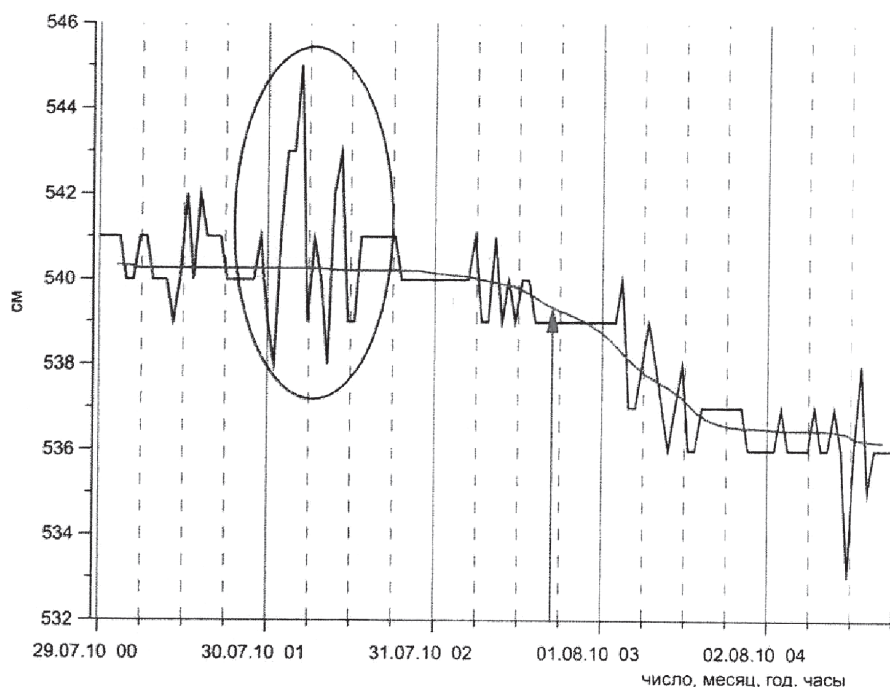


Рис. 1. Ежечасные уровни воды на оз. Ладожское (ос. Валаам) по данным самописца с 29 июля 2010 г. (00 ч МСК) по 2 августа 2010 г. (16 ч МСК).

Овалом обозначена сейша на озере. Стрелка — момент землетрясения с 18:44 GMT 31 июля 2010 г. [2]

В исследованиях [4, 6, 7, 14] было показано, что землетрясения инициируются изменением атмосферной циркуляции. При этом земная кора испытывает дополнительные нагрузки, которые влияют на различные геофизические процессы в земной коре. В частности усиливается эмиссия литосферных газов [5], увеличиваются наклоны участков земной коры [10, 12, 16], меняется уровень подземных вод, уровень открытых водоемов [11] и т.д. Влияние атмосферой циркуляции на геофизические процессы земной коры и инициирование землетрясений происходит при типично крупных атмосферных вихрях [4, 14, 15]. Небольшие по площади атмосферные вихри не оказывают существенного влияния на земную кору. Например, ураган над Ладогой на 21 ч (СГМ) 29 июля 2010 г. при продвижении охватывал территорию размером с озеро (рис. 2).

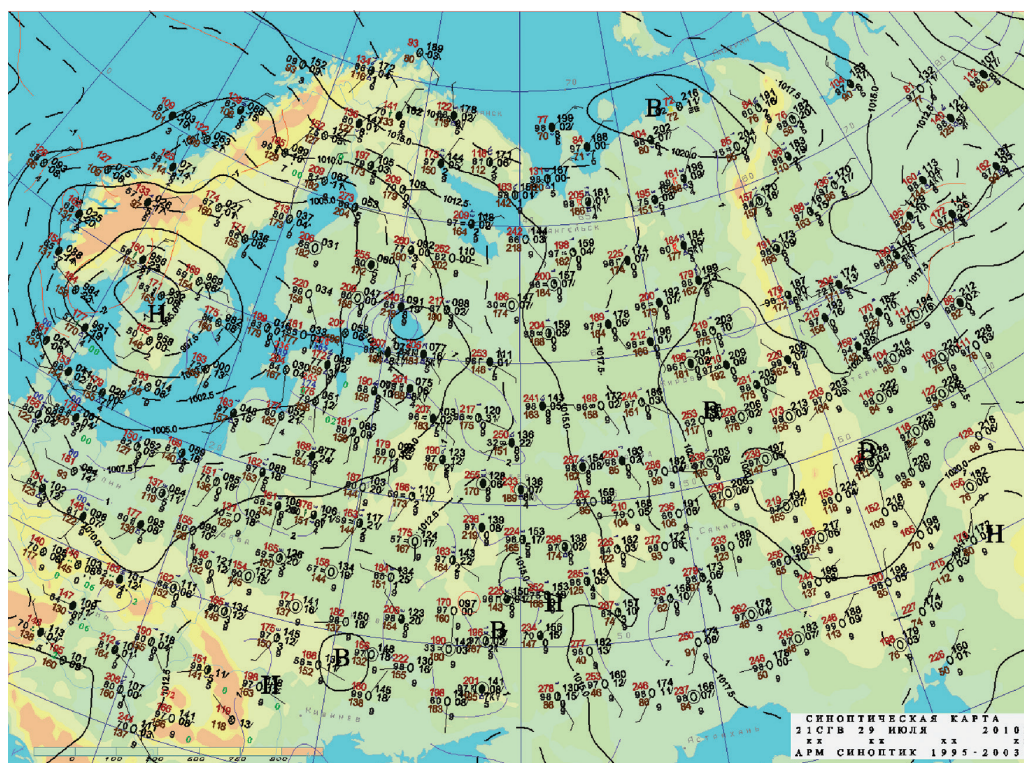


Рис. 2. Синоптическая карта на 21 СГВ 29 июля 2010 г.

Влияние атмосферной циркуляции на сейсмические события на Ладогe обусловлены более крупными атмосферными вихрями. Рассмотрим последовательно изменения атмосферной циркуляции, предшествующие слабому землетрясению на Ладогe 31 июля 2010 г. На рис. 3а, рис. 3б представлены поля атмосферного давления за двое суток до сейсмического события 29 июля и на день возникновения землетрясения 31 июля 2010 г. Из рисунка видно, что за двое суток над Ладогой располагалась циклоническое поле с центром циклона над Рижским заливом Балтийского моря. Этот циклон находился в окружении зоны повышенного давления с запада, с севера и с востока. Расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 3в) показал, что за 2 суток над Норвежским морем наблюдалась область отрицательных нагрузок, а над центральной частью России — область положительных нагрузок. В день, когда случилось землетрясение (31 июля), указанный циклон сместился на север и его центр оказался над побережьем Норвегии, а над Ладогой располагалась северная периферия обширной области высокого атмосферного давления. Этот процесс отразился на уровне воды на Ладожском озере. При низком атмосферном поле (циклон) уровень воды повышается и, наоборот, при высоком атмосферном давлении (антициклон) уровень понижается. Это хорошо видно на рис. 1, а также видно, что время землетрясения совпало с увеличением

атмосферного давления. Расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 3г) в день, когда случилось землетрясение, показал изменение атмосферных нагрузок на зеркально противоположный результат. Над Норвежским морем образовалась область положительных нагрузок, а над центральной частью России — область отрицательных нагрузок. Именно этот процесс — быстрая (в геологии — резкая) смена знака атмосферных нагрузок на рассматриваемых районах и привел к увеличению напряжения в разломах и сейсмическим событиям на Ладогe. Для проверки на случайность подобных изменений атмосферной циркуляции был рассмотрен еще один случай слабого землетрясения примерно в том же месте у о. Валаам, представленный в работе [3].

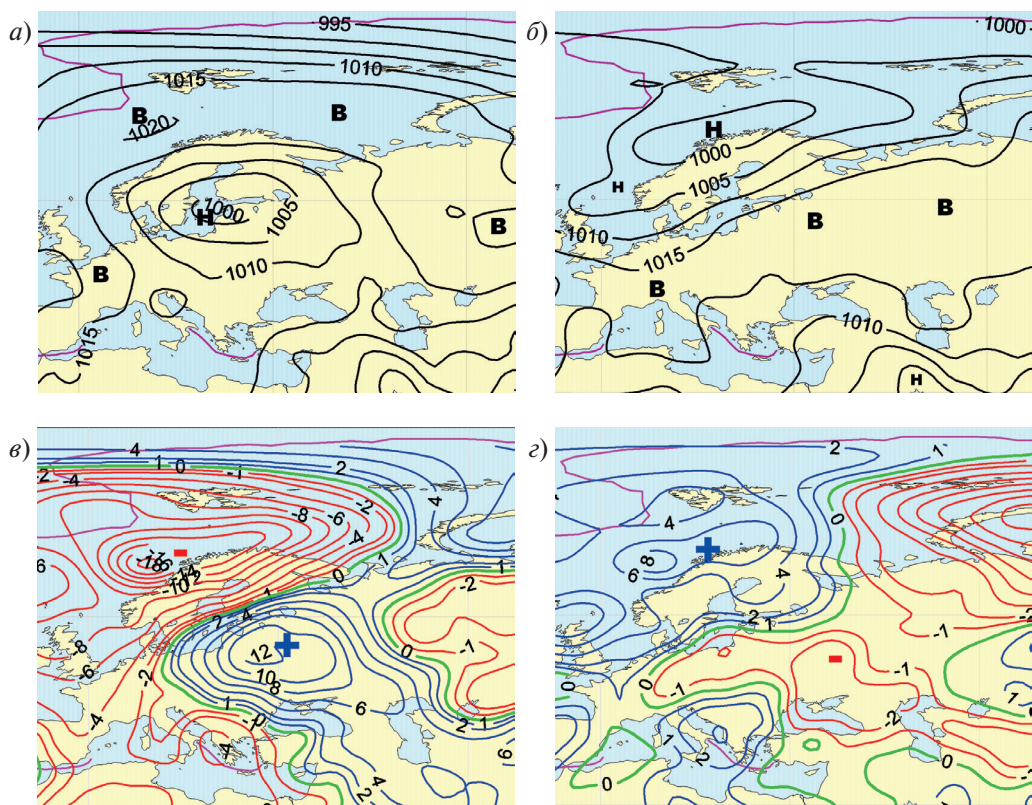


Рис. 3. Поля атмосферного давления 29 июля (а), 31 июля (б) 2010 г. Поля атмосферных нагрузок за двое суток (в) и в день сейсмического события (г)

Сейсмическое событие произошло 6 сентября 2007 г. На рис. 4а, рис. 4б представлены поля атмосферного давления за трое суток до сейсмического события 3 сентября и на день возникновения события 6 сентября 2007 г. 3 сентября над Ладогой, как и в первом случае, располагалась циклоническое поле с центром циклона над Финляндией. С запада и с востока от циклона находились области повышенного давления.

Расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 4в) показал, что за 3 суток над Норвежским и Баренцевым морями наблюдалась область отрицательных нагрузок, а над центральной частью России – область положительных нагрузок. В день, когда случилось сейсмическое событие (6 сентября), указанный циклон сместился еще севернее и его центр оказался над побережьем Норвегии, а над Ладогой расположилась северная периферия обширной области высокого атмосферного давления. Как и в первом случае, расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 4г) в день, когда случилось землетрясение, показал изменение атмосферных нагрузок на зеркально противоположный результат. Над Норвежским морем образовалась область положительных нагрузок, а над центральной частью России – область отрицательных нагрузок. Данный случай подчеркнул идентичность процессов, инициирующих сейсмические события на Ладоге в летнем - осеннем периоде.

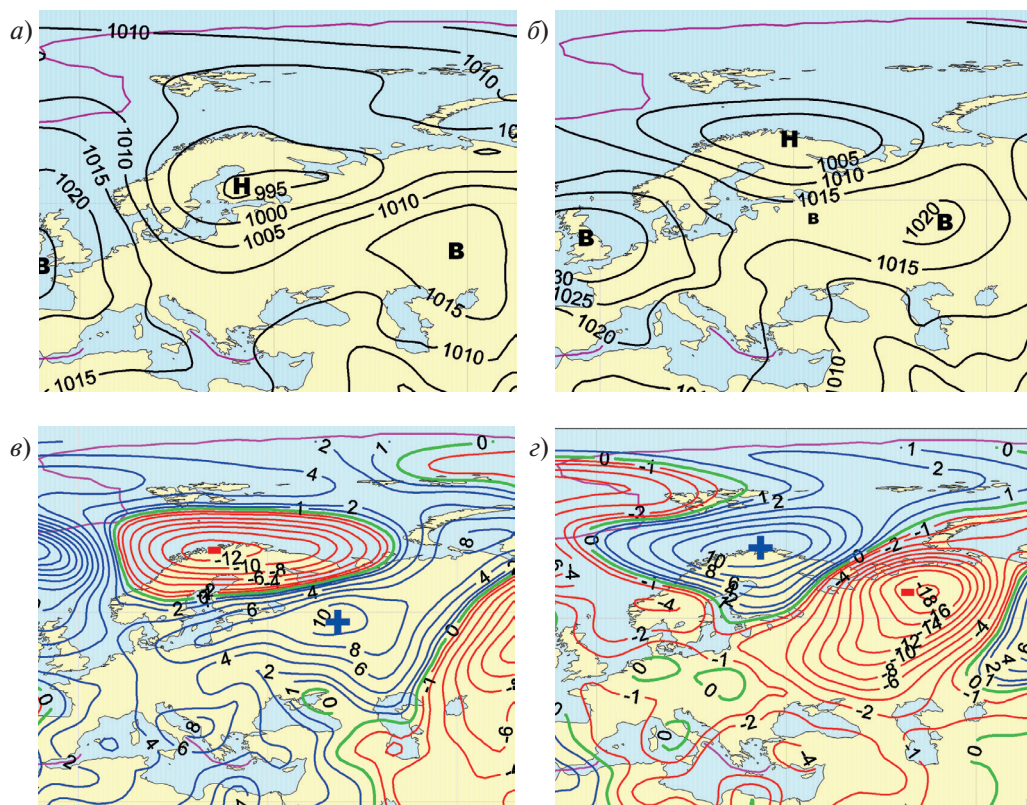


Рис. 4. Поля атмосферного давления 3 сентября (а), 6 сентября (б) 2007 г.
Поля атмосферных нагрузок за трое суток (в) и в день сейсмического события (г)

В силу ограничения объема статьи мы не можем привести и ряд других случаев, показывающих выявленные особенности изменения атмосферной циркуляции

и инициирующих сейсмические события на Ладоге, но отметим ряд следующих особенностей закономерных в связях сейсмичности и изменения атмосферной циркуляции.

В исследованиях [6] было показано, что для определенного сейсмически активного района существует свои внутригодовые связи между сейсмичностью и изменчивостью атмосферной циркуляции. Для каждого сезона года и определенного активного разлома существуют различные, типичные изменения атмосферной циркуляции, инициирующие сейсмичность на данном разломе. Поэтому для каждого сезона года меняется сейсмическая активность разломов, расположенных в сейсмически активном районе. В качестве примера рассмотрим недавний случай слабого поверхностного землетрясения, произошедшего 28 февраля 2013 г. с магнитудой $M = 1,9$ на западном побережье Ладоги (рис. 5).

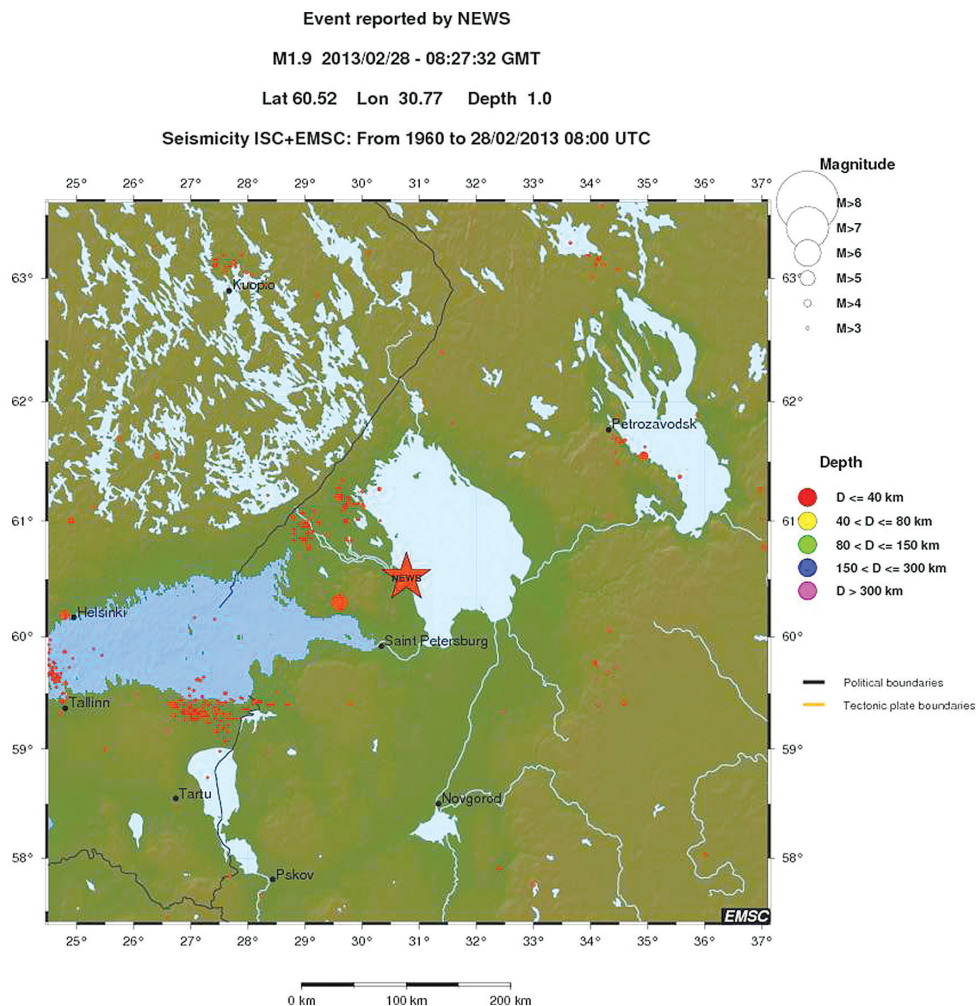


Рис. 5. Землетрясение, зарегистрированное на западном побережье Ладоги 28 февраля 2013 г.

На рис. 6а, рис. 6б представлены поля атмосферного давления за 3 суток до сейсмического события 25 февраля и на день возникновения события 28 февраля 2013 г. 25 февраля над Ладогой, в отличие от выше рассмотренных случаев, располагалось антициклоническое поле с двумя центрами над Швецией и центральной частью России. С севера и с юга от антициклона находились области пониженного давления — циклоны. Расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору (рис. 6в) показал, что за 3 суток над Норвежским и Баренцевым морями и над центральной частью России наблюдалась область отрицательных нагрузок. Область положительных нагрузок находилась над центральной Европой и Землей Франца-Иосифа. В день, когда случилось сейсмическое событие (6 сентября), антициклон над центральной частью России разрушился и на его месте образовался циклон. Антициклоническое поле над Ладогой сменилось на циклоническое. Над центральной Европой образовался антициклон.

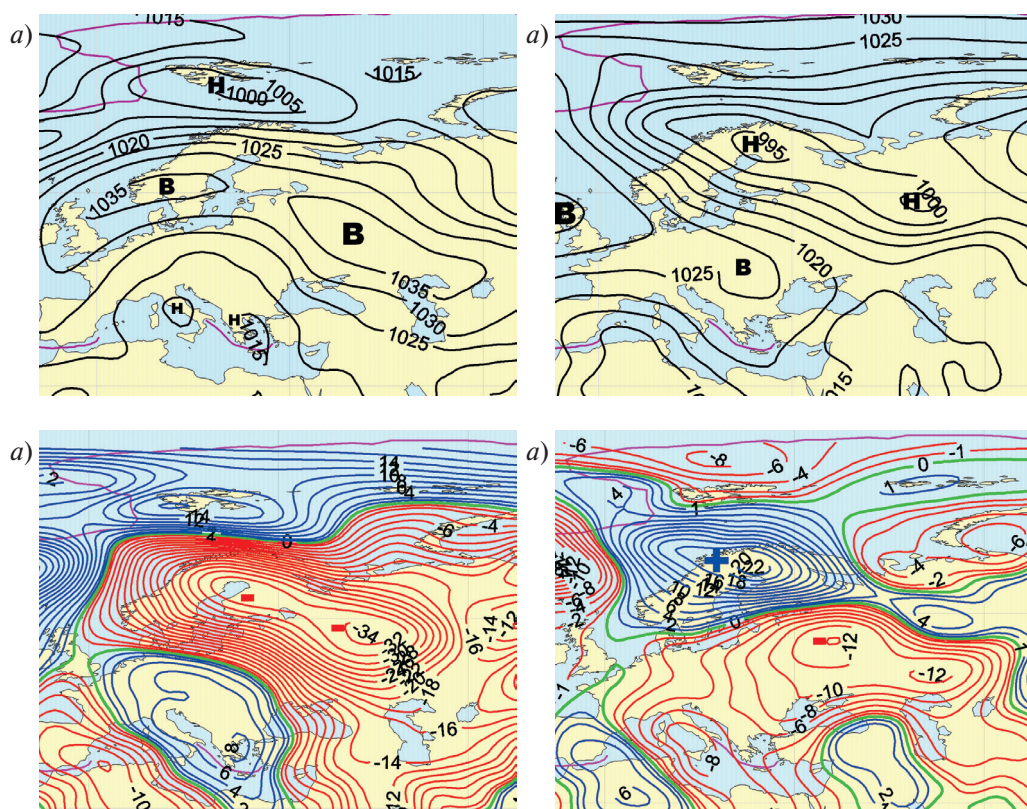


Рис. 6. Поля атмосферного давления 25 февраля (а), 28 февраля (б) 2013 г.
Поля атмосферных нагрузок за трое суток (в) и в день сейсмического события (г)

Подобное изменение атмосферной циркуляции отличается от процессов характерных для летнего — осеннего времени года. Зимой атмосферные процессы ярче

выражены и происходят по другому сценарию, но также инициируют сейсмические события на Ладоге. Однако, возможно, что изменения атмосферной циркуляции в третьем случае характерны при инициировании сейсмичности на западном побережье Ладоги. Чтобы установить, какой фактор важнее — влияние сезонного изменения циркуляции или активность сейсмичности на восточном побережье Ладоги, требуются дополнительные исследования.

Следует отметить, что во всех трех случаях расчет изменения атмосферных нагрузок на земную кору в день, когда случилось землетрясение, показал одинаковый результат (рис. 3г, рис. 4г, рис. 6г). Над Норвежским морем образовалась область положительных нагрузок, а над центральной частью России — область отрицательных нагрузок. Результаты трех случаев показали, что при данном распределении атмосферных нагрузок на Ладоге инициируются сейсмические события летом и осенью в районе о. Валаам. При таком же распределении атмосферных нагрузок сейсмические события зимой, вероятно, инициируются на западном побережье Ладоги.

Анализ изменения атмосферной циркуляции, предшествующего слабым сейсмическим событиям в Ладожском озере подчеркивает, что влияние атмосферной циркуляции на сейсмичность значительно больше, чем полагают сейсмологи [9].

Авторы благодарят Алексеенкова Г.А. за помощь в подготовке синоптической информации.

Литература

1. Ассиановская Б.А. Сейсмические события на Ладоге в XX веке. // Известия РГО РАН, вып. 4, т. 137, 2005, с. 70–76.
2. Ассиановская Б.А., Карпинский В.В., Недошивин С.А. Необычное землетрясение 31 июля 2010 года на Ладожском озере. // Геориск, № 1, 2011, с. 58–62.
3. Ассиановская Б.А., Овсов М.К., Карпинский В.В., Мехрюшев Д.А. Сейсмические события на Ладоге. // Геориск, № 3, 2009, с. 6–12.
4. Боков В.Н. Изменчивость атмосферной циркуляции — инициатор сильных землетрясений. // Известия РГО РАН, вып. 6, т. 135, 2003, с. 54–65.
5. Боков В.Н. Увеличение интенсивности проявления геофизических предвестников землетрясений под влиянием изменчивости атмосферного давления. — кн.: Геодинамика. Глубинное строение. Тепловое поле Земли. Интерпретация геофизических полей. — Сб. Мат. V межд. конф. чтения Булашевича, УрО РАН, Екатеринбург, 2009, с. 46–50.
6. Боков В.Н. О связи атмосферной циркуляции и сейсмичности в диапазоне сезонной изменчивости. // Ученые записки РГГМУ, № 14, 2010, с. 89–100.
7. Боков В.Н., Гутшабаш Е.Ш., Потиха Л.З. Атмосферные процессы как триггерный эффект возникновения землетрясений. // Ученые записки РГГМУ, № 18, 2011, с. 173–184.
8. Боков В.Н., Воробьев В.Н. Изменчивость геоакустической эмиссии и изменения атмосферной циркуляции. // Ученые записки РГГМУ, № 26, 2012, с. 173–184.
9. Боков В.Н. Когда содрогнется Земля? Краткосрочные прогнозы землетрясений. // Наука и жизнь, № 9, 2011, с. 47–57.
10. Латынина Л.А., Васильев И.М. Деформация земной коры под влиянием атмосферного давления. // Физика Земли, № 5, 2001, с. 45–54.
11. Марунич С.В., Завилейский С.В., Ливанова Н.А. Влияние атмосферного давления на формирование речного стока. // Изв. АН РАН, серия Географическая, № 1, 1998, с. 111.
12. Перцев Б.П., Ковалева О.В. Оценка влияния колебаний атмосферного давления на наклоны и линейные деформации земной поверхности. // Физика Земли, № 8, 2004, с. 79–81.

13. *Сытинский А.Д., Боков В.Н., Оборин А.Д.* Зависимость циркуляции атмосферы Земли от процессов на Солнце и в межпланетной среде. // Наука, РАН, Геомагнетизм и аэрономия, т. 43, № 1, 2003, с. 136–142.
14. *Сытинский А.Д.* Связь сейсмичности Земли с солнечной активностью и атмосферными процессами. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 100 с.
15. *Трубицин А.П., Макалкин А.Б.* Деформации земной коры под действием атмосферных циклонов. // Физика Земли, № 5, 1976, с. 94–96.
16. *Широков И.А., Анохина К.М.* О связи пространственно-временных вариаций наклонов земной поверхности с вариациями атмосферного давления. // Физика Земли, № 1, 2003, с. 84–87.
17. [<http://www.emsc-csem.org>].