

9 ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Введение

Геофизический мониторинг представляет собой систему наблюдений за сейсмичностью, геофизическими и геодинамическими процессами. Объектами наблюдений геофизического мониторинга являются сейсмические события природного и техногенного происхождения, геомагнитные и гравитационные поля [37-38].

Ежегодно для оценки динамики сейсмических, геофизических и геодинамических процессов, а также выявления повышенной тектонической активности в местах расположения экологически опасных хозяйственных объектов проводят геофизический мониторинг по следующим направлениям:

сейсмический мониторинг, представляющий собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний;

геомагнитный мониторинг, включающий непрерывные стационарные наблюдения за текущим состоянием геомагнитного поля и периодические наблюдения за геодинамическими процессами на полигонах.

Сейсмологические исследования позволяют изучать причины происхождения очагов землетрясений и определять их кинематические и динамические параметры, а также оценивать степень сейсмических воздействий, их опасность и риск для хозяйственных объектов; создавать системы наблюдений и разрабатывать методы предсказания землетрясений.

Геомагнитные исследования направлены на изучение векового хода составляющих магнитного поля Земли. Наблюдения проводятся в геофизической обсерватории «Плещеницы» феррозондовым магнитометром LEMI-022, который регистрирует изменения во времени на горизонтальных – X и Y и вертикальной – Z составляющих. По данным наблюдений ежемесячно составлялся обзор состояния геомагнитного поля.

Сеть геофизического мониторинга Беларуси структурно состоит из трех уровней: глобальный, региональный и локальный. Глобальный и региональные уровни мониторинга обеспечивали геофизические обсерватории «Плещеницы» и «Нарочь»; региональный и локальный – сети сейсмических станций в Солигорском и Островецком районах.

В 2018 г. сейсмологические наблюдения проведены Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси в непрерывном режиме с использованием автоматизированных систем. Наблюдения проводились в следующих пунктах наблюдений: геофизических обсерваториях «Плещеницы» и «Нарочь», на двух локальных сетях сейсмических станций: первая в Солигорском районе (восемь сейсмических станций: «Волоты», «Тесово», «Устронь», «Чижовка», «Копачевичи», «Новый луг», «Махновичи», «Листопадовичи»); в Островецком районе (семь сейсмических станций: «Бояры», «Градовщица», «Вадатишки», «Селище», «Горная Каймина», «Воробы», «Литвяны») (рисунок 9.1).

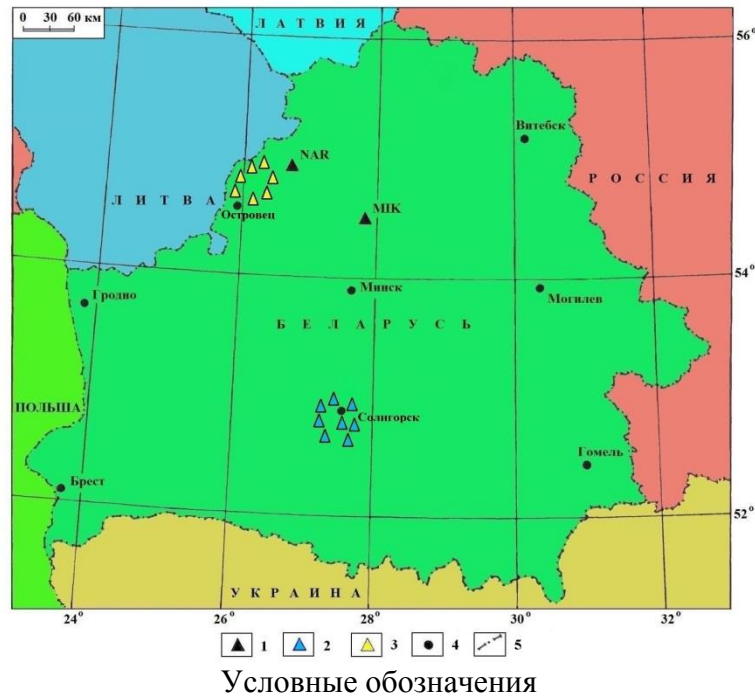


Рисунок 9.1 – Сеть пунктов наблюдений геофизического мониторинга (по состоянию на 31.12.2018):

1 – пункты наблюдений: геофизические обсерватории: «Плещицы» – МІК, «Нарочь» – NAR; 2 – Солигорская локальная сейсмическая сеть; 3 – Островецкая локальная сейсмическая сеть; 4 – город; 5 – государственная граница

Основной посыл и выводы

Количество зарегистрированных землетрясений в 2018 г. на глобальном уровне составляет 2920 событий, на региональном (903) и локальном (72) землетрясения. Анализ сейсмичности показал, что уровень сейсмической активности в 2018 г. повысился по отношению к предыдущему году, и остается повышенным к средним многолетним значениям.

В 2018 г. геомагнитной обсерваторией зафиксировано 22 магнитные бури, среднегодовое значение суммарных K -индексов составляет (14,48). Определены среднегодовые значения векового хода элементов D (522,72), H (17780,58), Z (48050,58), T (51235,08) геомагнитного поля Земли. Уровень активности геомагнитного поля Земли в 2018 г. был немного ниже, чем в предыдущем году, но остается повышенным к средним многолетним значениям.

Результаты наблюдений и оценка

Сейсмический мониторинг

Первичная обработка полученной сейсмической информации заключается в определении моментов вступлений, знаков и четкости вступлений сейсмических волн; в измерении их амплитуд и периодов сейсмических волн. Обработка сейсмической информации осуществлена в трех режимах: срочном (составление и подача сводки срочных донесений о сильном или ощутимом землетрясении в течение часа после регистрации события); оперативном (более полная обработка сейсмических событий за истекшие сутки); режиме станционной обработки данных с составлением ежедекадных бюллетеней.

На территории Беларуси в 2018 г. зарегистрировано 72 землетрясения. Согласно зафиксированным данным, землетрясение с наименьшим энергетическим классом (4,9) произошло 18 сентября (02^h59^m), а с максимальным (8,6) – 17 января (15^h59^m). Основная

часть сейсмических событий приурочена к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы, включая Солигорский горнопромышленный район и окружающую его территорию (рисунок 9.2).

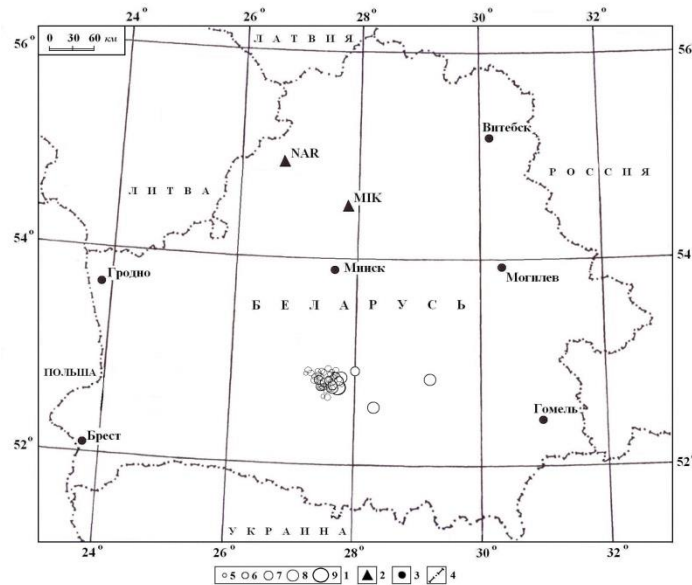


Рисунок 9.2 – Карта эпицентров землетрясений территории Беларуси, 2018 г.:
 1 – энергетический класс $K=5-9$; 2 – сейсмическая станция;
 3 – город; 4 – государственная граница

В течение года высвобождение сейсмической энергии происходило не равномерно (рисунок 9.3). Максимальное выделение сейсмической энергии ($0,5559 \cdot 10^9$ Дж) наблюдалось в марте, а минимальное значение ($0,0063 \cdot 10^9$ Дж) отмечено в феврале. Максимальное число произошедших сейсмических событий (9) зафиксировано в октябре и декабре, а минимальное число событий (1) отмечено в феврале.

В 2018 г. наблюдалось повышение (в 1,05 раза) уровня выделившейся суммарной сейсмической энергии $\Sigma E=1,6915 \cdot 10^9$ Дж по сравнению с 2017 г. ($\Sigma E=1,6188 \cdot 10^9$ Дж), и снижение (в 1,09 раза) среднего многолетнего значения $\Sigma E=1,8355 \cdot 10^9$ Дж за 25 лет (1993-2017). Количество произошедших сейсмических событий (72) больше (в 1,71 раза), чем 2017 г. (42), и больше (в 1,57 раза) среднего многолетнего значения ($N_{\Sigma}=45,84$) за 25 лет.

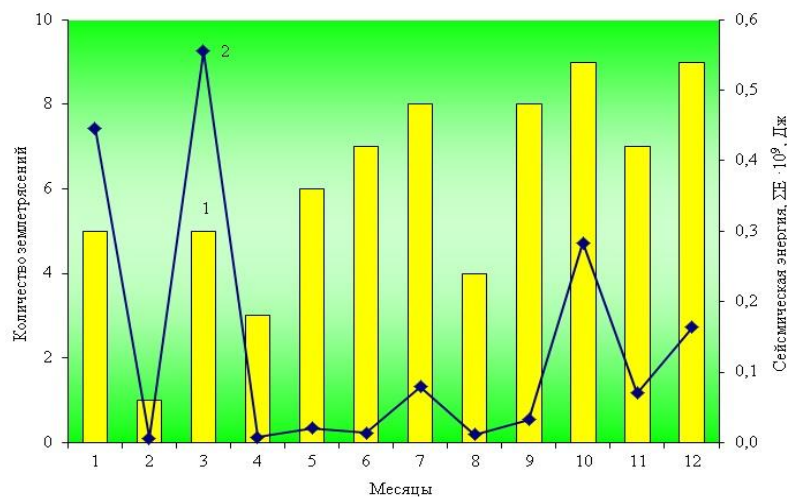


Рисунок 9.3 – График изменения числа сейсмических событий (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) за 2018 г.

На рисунке 9.4 представлен долговременный график распределения числа землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии по годам за период 1993-2018 гг. Анализ долговременного проявления сейсмического процесса на территории Беларуси показал, что максимальные значения суммарной выделившейся сейсмической энергии наблюдались в 1996 и 1999 гг., минимальные отмечены в 2010-2012 гг. Максимальное число произошедших сейсмических событий отмечено в 1997-1999, 2002, 2015 и 2018 гг. В 2013-2016 и 2018 гг. возрос уровень суммарной выделившейся сейсмической энергии и количество произошедших сейсмических событий.

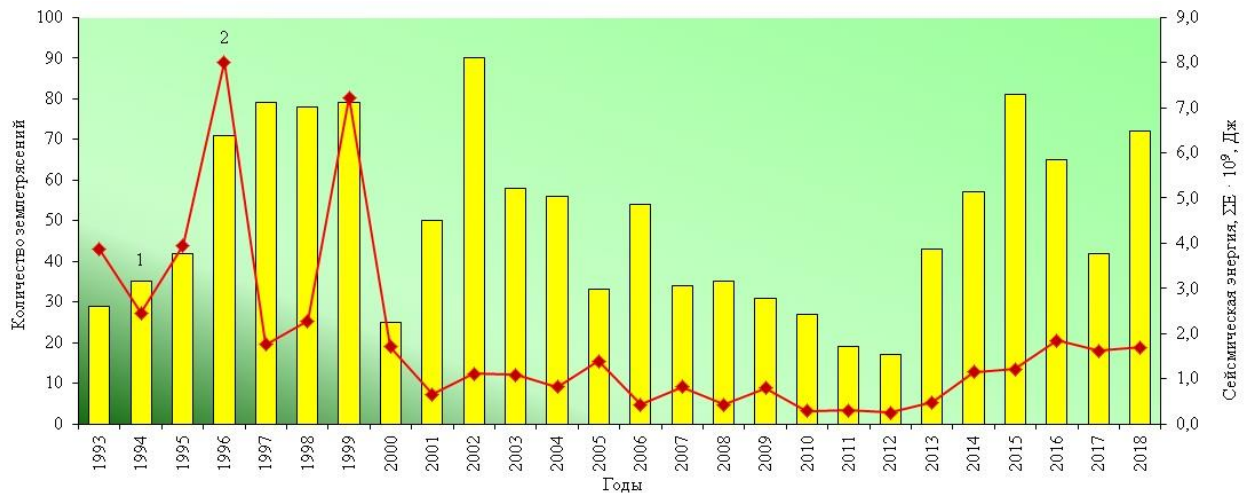


Рисунок 9.4 – График изменения числа сейсмических событий (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) за 1993-2018 гг.

На рисунке 9.5 показана частота реализации всех сейсмических событий за 2018 г. в течение суток с периодами повышения числа событий в ночное время – 01^h и 03^h, в дневное время – 20^h и 21^h. Анализ частоты реализации сейсмических событий в разные годы, не выявил четкого проявления максимумов числа событий в определенное время суток.

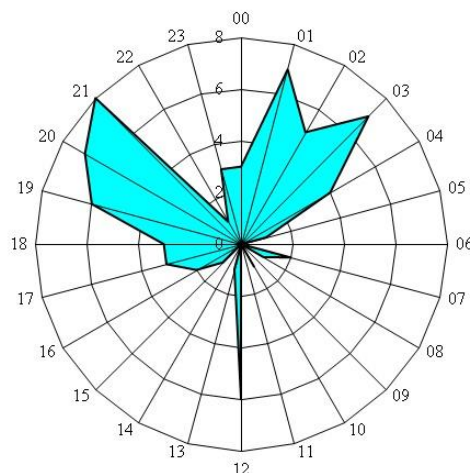


Рисунок 9.5 – Распределение сейсмических событий 2018 г. по часам суток

На рисунке 9.6 показано распределение всех землетрясений за 2018 г. по дням недели, среди которых максимум преобладает в четверг и воскресенье.

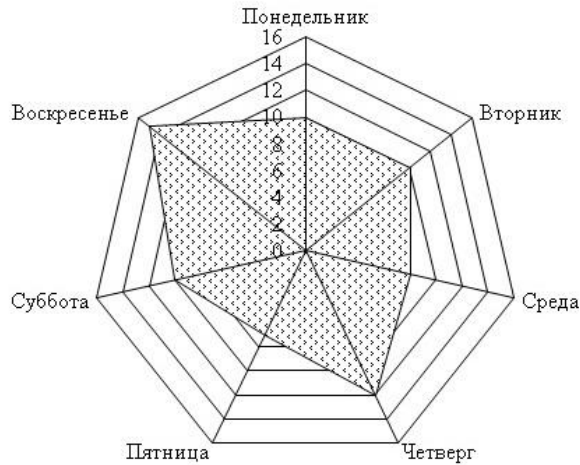
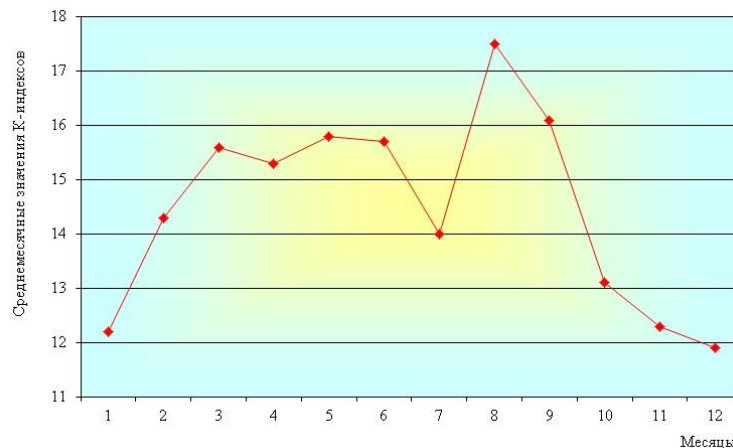


Рисунок 9.6 – Распределение сейсмических событий по дням недели в 2018 г.

Геомагнитный мониторинг

По данным вариационных наблюдений ежемесячно составлялся обзор состояния геомагнитного поля, включающий таблицы среднечасовых и среднесуточных значений элементов геомагнитного поля (H – горизонтальная составляющая, Z и D – угловое склонение), таблицы возмущенности геомагнитного поля по трехчасовым интервалам значений 9-балльной шкалы K -индексов, описания магнитных бурь и их характеристик. Выполнено 35 абсолютных измерений компонент D , J (угловое наклонение) и T (полный вектор напряженности магнитного поля) для определения базисных значений элементов геомагнитного поля D_0 , H_0 , Z_0 , X_0 , Y_0 .

В результате анализа и обобщения геомагнитных данных за 2018 г. составлены таблицы трехчасовых значений K -индексов по H , D и Z компонентам геомагнитного поля. Проведено вычисление среднemesячных значений суммарных K -индексов. Распределение среднemesячных суммарных значений K -индексов в течение года проходило не равномерно (рисунок 9.7). Максимальное среднemesячное суммарное значение K -индексов отмечено в августе (17,5), а минимальное – в декабре (11,9). Среднегодовое значение (14,48) суммарных K -индексов за 2018 г. немного меньше (в 1,21 раза), чем в 2017 г. (17,48) и меньше (в 1,25 раза) среднего многолетнего значения (18,12) за 25 лет (1993-2017 гг.).

Рисунок 9.7 – График изменения среднemesячных значений суммарных K -индексов в 2018 г.

Долговременные вариации среднегодовых значений суммарных K -индексов показывают, что наблюдается три периода возрастания и снижения значений параметров (рисунок 9.8). Первый период наблюдался в 1997-2002 гг., второй в 2003-2009 гг., третий в 2010-2018 гг., с небольшой стабилизацией в 2017 г. Максимальные значения среднегодовых значений суммарных K -индексов (24) наблюдались в 2000, 2004, 2005 гг., минимальное значение (13) отмечено в 2009 г.

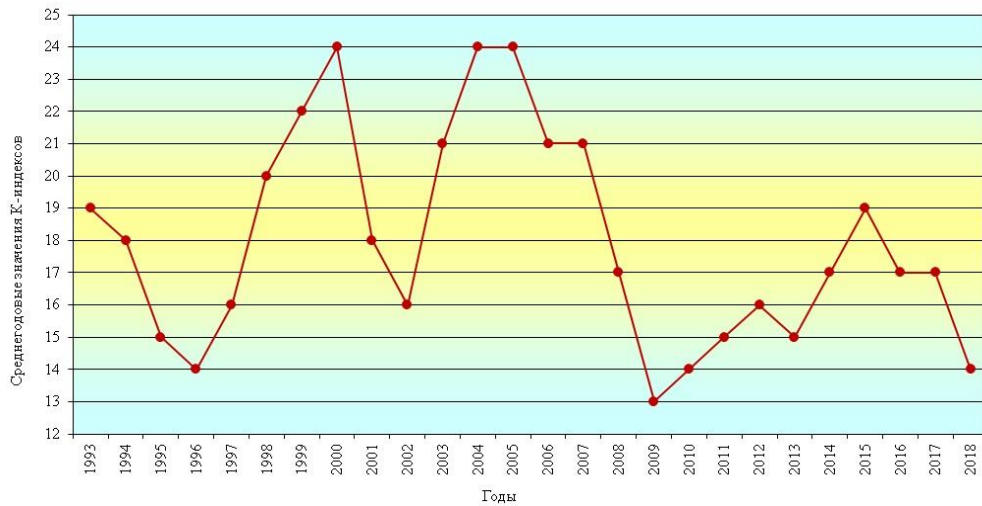


Рисунок 9.8 – График долговременных вариаций среднегодовых значений суммарных K -индексов за 1993–2018 гг.

В течение года геомагнитной обсерваторией зарегистрировано и обработано 22 магнитные бури, из них 18 малые бури (М), 3 умеренные бури (У) и 1 большая буря (Б). Наибольшее количество магнитных бурь (3) произошло в феврале, июне, августе и сентябре, а минимальное – в январе и июле (0) (рисунок 9.9). В 2018 г. произошло на 15 геомагнитных бурь меньше, чем в 2017 г. (37), и меньше (в 1,27 раза) среднего многолетнего значения (27,84) за 25 лет (1993-2017 гг.).

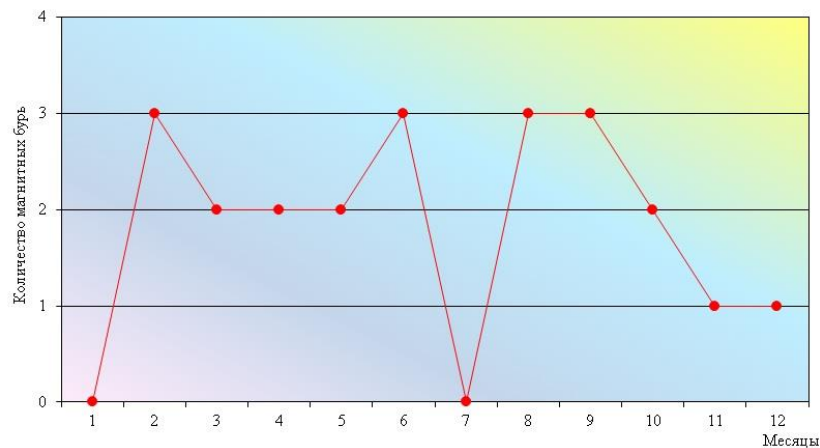


Рисунок 9.9 – График изменения числа магнитных бурь в 2018 г.

Долговременные вариации числа магнитных бурь показывают, что периоды снижения сменяются периодами возрастания значений параметра (рисунок 9.10). Так, в 1993-1998 гг. наблюдалось снижение значений параметра, в 1999-2003 гг. отмечался рост значений с локальным понижением в 2004 г. и дальнейшим снижением до 2010 г.. В 2010-2015 гг. наблюдался период возрастания, с небольшим понижением в 2013-2014 гг.

Затем в 2016-2018 гг. наблюдается спад значений. Максимальные значения количества магнитных бурь наблюдались в 2003 г. (50) и 2015 г. (54), а минимальное значение (2) отмечено в 2009 г. Период между максимальными пиками по количеству бурь составляет 12 лет, который совпадает с очередным периодом солнечной активности.

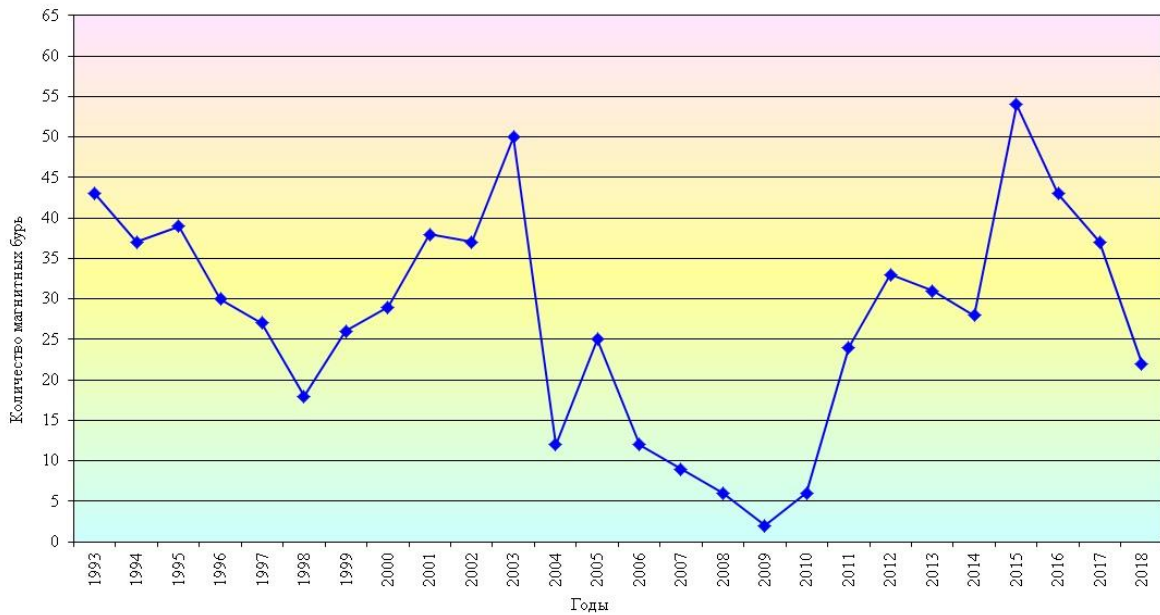


Рисунок 9.10 – График долговременных вариаций количества магнитных бурь за период 1993–2018 гг.

Обзор состояния геомагнитного поля Земли составлен по среднемесячным значениям элементов D, H, Z, T геомагнитного поля в 2018 г. На протяжении всего года отмечался рост значений элемента D (угловая составляющая магнитного поля) с небольшим снижением в декабре (рисунок 9.11). Максимальное значение (526,56) элемента D отмечено в ноябре, а минимальное – в январе (517,81). Среднегодовое значение (522,72) элемента D больше (на 95,99) среднего многолетнего значения (426,73) за 25 лет (1993-2017 гг.).

Распределение значений элемента H (горизонтальная составляющая магнитного поля) в течение года проходило не равномерно (рисунок 9.11). Снижение отмечено в феврале–апреле и июле–сентябре, ноябре, а рост значений наблюдался в июне, октябре и декабре. Максимальное значение (17790) зафиксировано в июне, а минимальное – в сентябре (17775). Среднегодовое значение (17780,58) элемента H меньше (на 1,38) среднего многолетнего значения (17781,96) за 25 лет (1993-2017 гг.).

На протяжении всего года отмечался рост значений элемента Z (вертикальная составляющая магнитного поля) (рисунок 9.11). Максимальное значение (48081) отмечено в декабре, а минимальное – в январе (48017). Среднегодовое значение (48050,58) элемента Z больше (на 536,46) среднего многолетнего значения (47514,12) за 25 лет (1993-2017 гг.).

В течение года увеличивалось значение элемента T (полный вектор напряженности магнитного поля Земли) с небольшой стабилизацией роста в ноябре (рисунок 9.11). Максимальное значение (51264) отмечено в декабре, а минимальное – в январе (51205). Среднегодовое значение (51235,08) элемента T больше (на 502,52) среднего многолетнего значения (50732,56) за 25 лет (1993-2017 гг.).

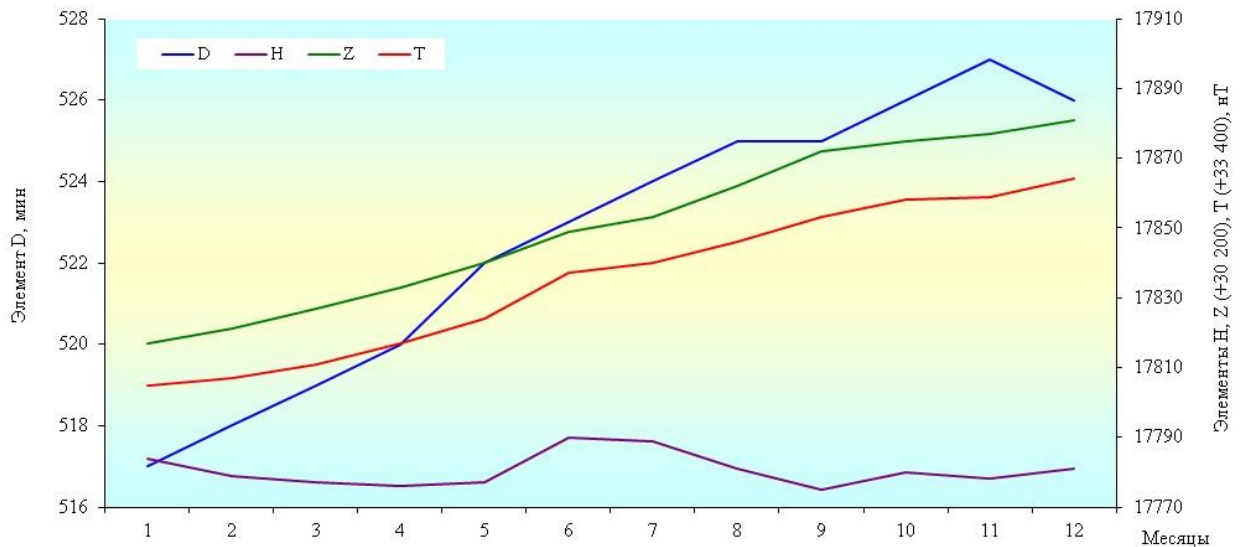


Рисунок 9.11 – График изменения среднемесячных значений элементов D, H, Z, T в 2018 г.

Вековой ход среднегодовых значений элементов геомагнитного поля Земли, определяемый по данным геомагнитной обсерватории «Минск», вычислен, как разность среднегодовых значений элементов геомагнитного поля между последующим и предыдущим годами. На рисунке 9.12 показан годовой ход элементов D, H, Z, T геомагнитного поля Земли на геомагнитной обсерватории «Минск» (Плещеницы) за период 1993-2018 гг. Вековой ход склонения D геомагнитного поля за период наблюдений (с 1993 г. по 2018 г.) составляет рост значений на ($2^{\circ}44'42''$) или в среднем ($6.33'$) в год. Вековой ход вертикальной составляющей Z геомагнитного поля за период наблюдений составляет рост значений на (956 нТл) или в среднем ($36,77$) в год. Вековой ход полного вектора T геомагнитного поля за период наблюдений составляет рост значений на (897 нТл) или в среднем ($34,50$ нТл) в год. Вековой ход горизонтальной составляющей H геомагнитного поля за период наблюдений колеблется возле значения (17781,89 нТл) и не показал роста значений. Рост значений векового хода наблюдаемых элементов D, Z, T геомагнитного поля указывает на продолжающееся смещение магнитного полюса Земли.

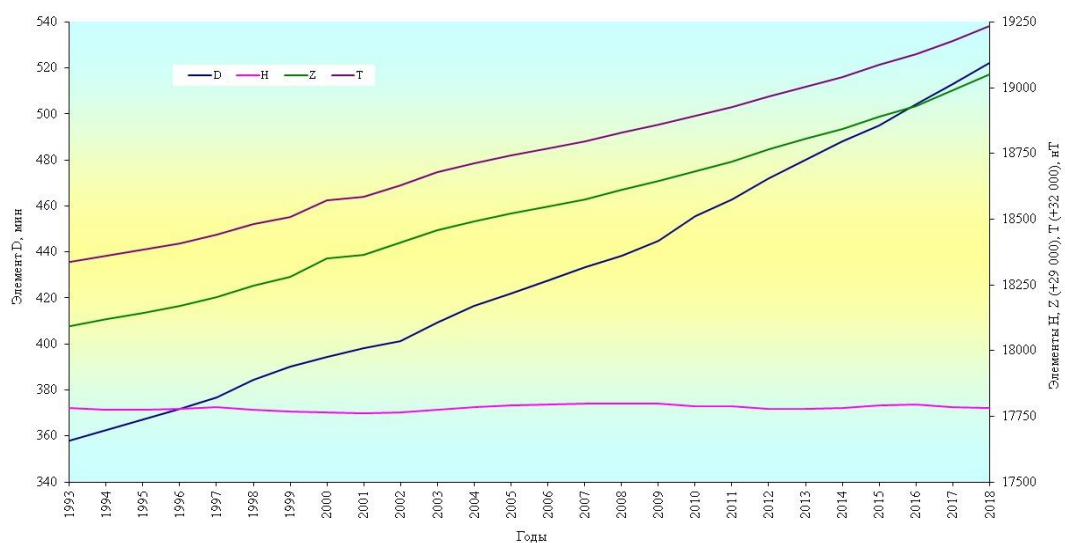


Рисунок 9.12 – Годовой ход составляющих D, H, Z, T геомагнитного поля Земли за период с 1993 по 2018 гг.

Международное сравнение

Глобальный сейсмологический мониторинг. В 2018 г. сетью сейсмических станций зарегистрировано и обработано 2920 землетрясений в разных регионах Земли в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний, из них 171 землетрясение с магнитудой $M \geq 6,0$, в том числе 19 событий с $M \geq 7,0$. Самое сильное землетрясение с магнитудой $M=8.2$ произошло 19 августа (00^h19^m UTC) на побережье западных островов Тонга. Анализ сейсмичности Земли показал, что в 2018 г. географическое распределение эпицентров землетрясений Земли в основном соответствует известной мировой статистике наблюдаемых на земном шаре землетрясений. В этих регионах непрерывно накапливаются тектонические напряжения, которые периодически разряжаются в виде землетрясений. Большая часть всей сейсмической энергии за год выделилась в Тихоокеанском сейсмоактивном поясе, остальная энергия землетрясений приходится на Трансзиатский, Атлантический и Индийский сейсмические пояса и другие сейсмоактивные регионы Земли.

В 2018 г. наибольшее число землетрясений (348) зафиксировано в августе, а наименьшее (182) в апреле (рисунок 9.13). Количество произошедших землетрясений (2920) больше на 372, чем в 2017 г. (2548) и больше (в 2,166 раза) среднего многолетнего значения (1348,16) за 25 лет (1993–2017 гг.).

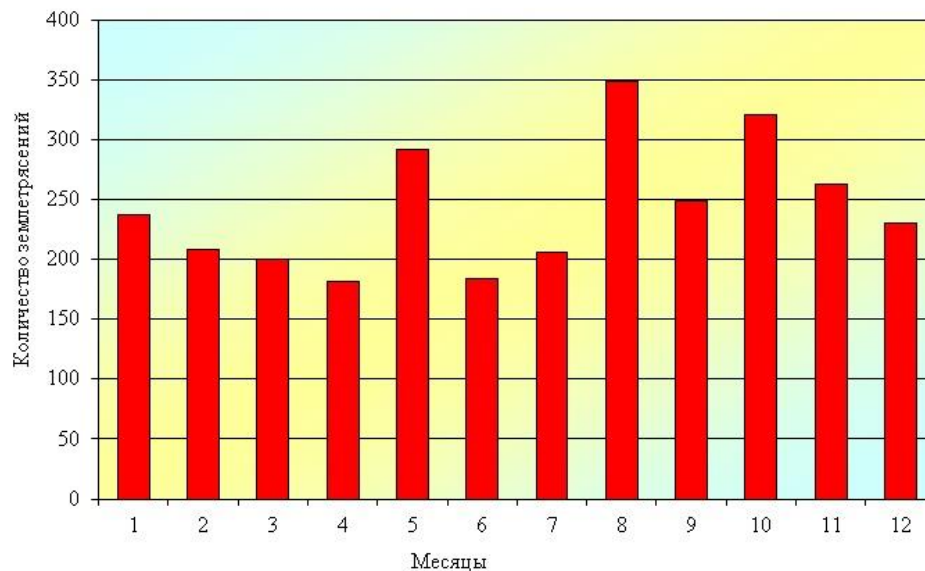


Рисунок 9.13 – График изменения количества землетрясений Земли в 2018 г.

На рисунке 9.14 представлен долговременный график количества землетрясений по годам за период с 1993 по 2018 гг. Наблюдались 3 активных периода: 1993-1996 гг. с максимумом землетрясений в 1995 г. (1450), 2005-2011 гг. с максимумом землетрясений в 2005 г. (1674), 2015-2018 гг. с максимумом землетрясений в 2018 г. (2920). Минимальное число землетрясений наблюдалось в 1998 г. (854), 2001 г. (886) и 2003 г. (895).

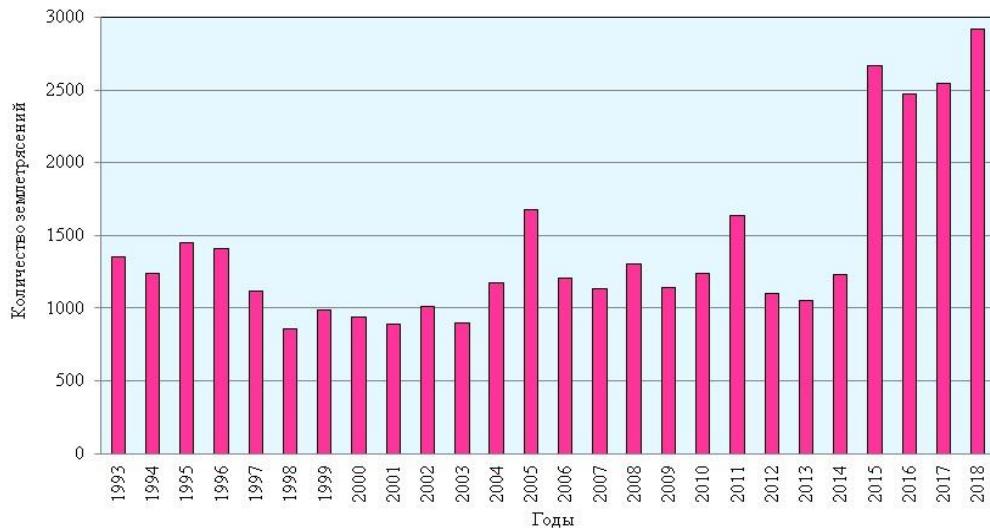


Рисунок 9.14 – График изменения во времени количества землетрясений Земли за 1993–2018 гг.

Региональный сейсмологический мониторинг. На территории Европы и смежных областях в 2018 г. зарегистрировано 903 землетрясения с магнитудой $M \geq 3,0$, из них 57 событий с $M \geq 5,0$. Самое сильное землетрясение с магнитудой $M=7,1$ произошло 25 октября ($23^{\text{h}}09^{\text{m}}$) в Ионическом море. На Европейском субконтиненте наибольшая плотность эпицентров землетрясений наблюдалась в Альпийском сейсмоактивном поясе. В пределах этого пояса выделилась основная часть суммарной сейсмической энергии за год, остальная ее часть относится к внутриконтинентальной и океанической частям.

В течение года наименьшее число землетрясений (52) произошло в марте, а наибольшее (123) в октябре, связанное с повышенной сейсмической активностью в Ионическом море, Греции, Турции и Италии (рисунок 9.15). В 2018 г. отмечено на 107 землетрясений меньше, чем в 2017 г. (1010), но больше (в 1,66 раз) среднего многолетнего значения (544,01) за 25 лет (1993-2017 гг.).

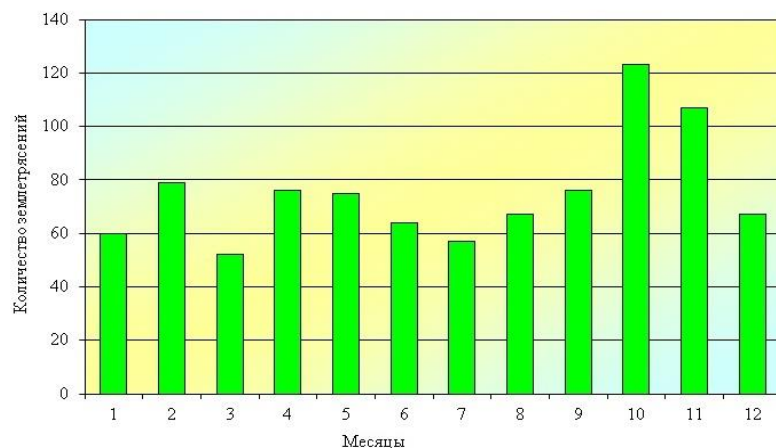


Рисунок 9.15 – График изменения количества землетрясений по месяцам в 2018 г.

На рисунке 9.16 представлен долговременный график хода числа землетрясений на территории Европы с магнитудами $M \geq 3,0$ за период 1993–2018 гг. Анализ долговременного проявления сейсмического процесса показал, что тенденция нарастания числа землетрясений с 1993 г. достигла своего максимума в 2006 г., а в 2007–2008 гг.

отмечался стабильный ход. В 2009-2010 гг. наблюдался спад активности, который прервался в 2011-2012 гг., а 2013-2014 гг. наметился спад активности. В 2015 г. наблюдается резкий рост значений, в связи с афтершоковой активностью, в 2016-2018 гг. отмечается постепенный спад активности.

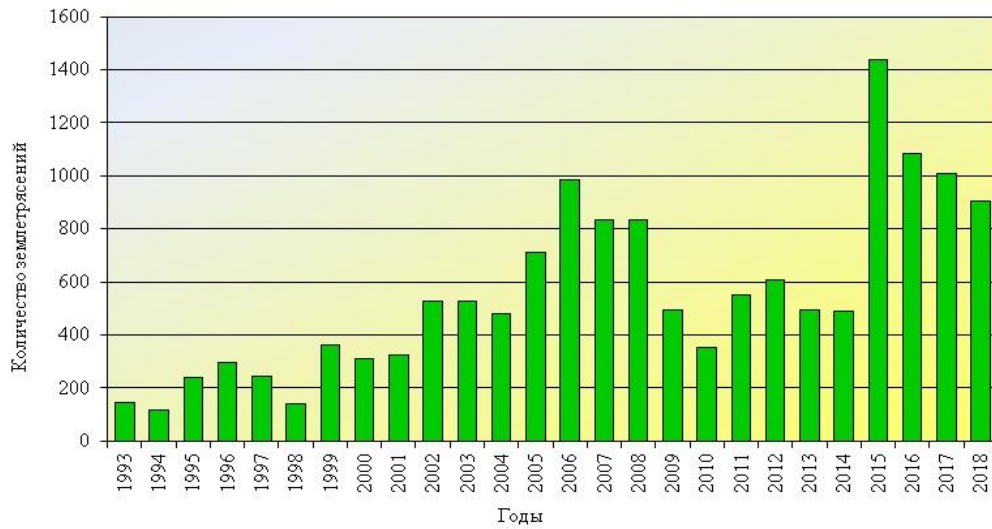


Рисунок 9.16 – График изменения во времени количества землетрясений Европы с магнитудой $M \geq 3,0$ за 1993–2018 гг.

Комплексный анализ параметров сейсмичности. На основе анализа и обобщения геофизического мониторинга территории Земли, Европы и Беларуси выполнен комплексный анализ параметров сейсмичности за период 1993–2018 гг. (рисунок 9.17). Анализ сейсмичности показал, что на территории Земли максимальное число землетрясений (2920) зафиксировано в 2018 г., а минимальное (854) в 1998 г. На территории Европы максимальное число землетрясений (1439) зафиксировано в 2015 г., а минимальное (118) в 1994 г. В Беларуси максимальное число землетрясений (90) зафиксировано в 2002 г., а минимальное (17) в 2012 г. Комплексный анализ сейсмичности показал, что процесс высвобождения сейсмической энергии не стабилен, периоды роста числа событий изменяются на их снижение и наоборот. В отдельные годы наблюдается синхронный ход высвобождения энергии, а в другие отмечается развитие процесса в противофазе.

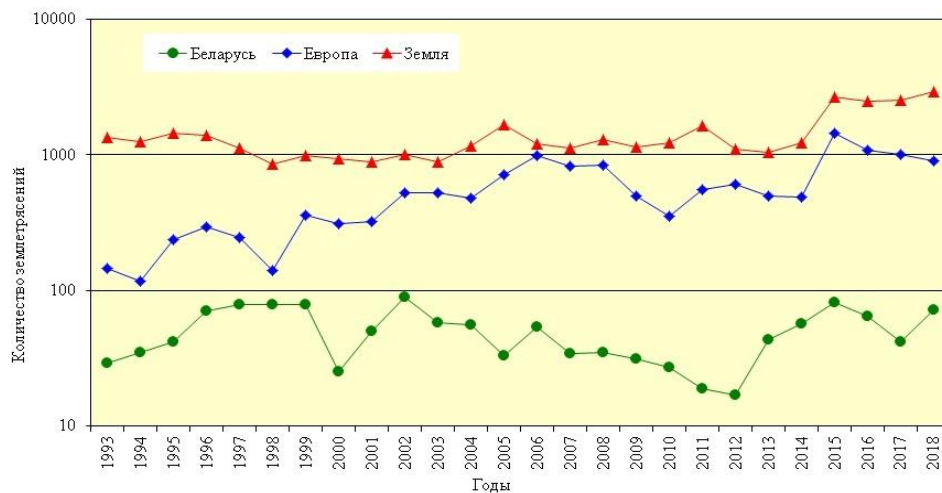


Рисунок 9.17 – График временного хода числа землетрясений на территории Земли, Европы и Беларуси за период 1993-2018 гг.