

9 Геофизический мониторинг

Геофизический мониторинг является составной частью Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь и проводится ежегодно по следующим направлениям:

- сейсмический мониторинг, который представляет собой систему непрерывных круглосуточных наблюдений за происходящими сейсмическими событиями естественного и искусственного происхождения в широком диапазоне энергий и расстояний, обработку данных, анализ полученных результатов и оценку сейсмической обстановки;
- геомагнитный мониторинг, включающий периодические наблюдения за геодинамическими процессами на полигонах и непрерывные стационарные наблюдения за текущим состоянием геомагнитных полей;
- мониторинг гравитационного поля Земли.

Сейсмологические исследования направлены на изучение причин происхождения землетрясений; определение кинематических и динамических параметров очагов землетрясений, волновой картины и глубинной среды; оценку степени сейсмических воздействий, опасности и риска; создание систем наблюдений; разработку методов предсказания землетрясений.

Обзор сейсмичности территории Беларуси. В 2008 г. сейсмологические наблюдения проводились в непрерывном режиме на пунктах наблюдений Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси: в геофизических обсерваториях «Минск» (Плещеницы), «Нарочь» и на сейсмических станциях «Солигорск», «Полоцк», «Могилев», «Литвяны». Первичная обработка сейсмической информации состоит из последовательных этапов обработки: определение моментов вступления сейсмических волн; определение знаков и чёткости вступлений сейсмических волн;

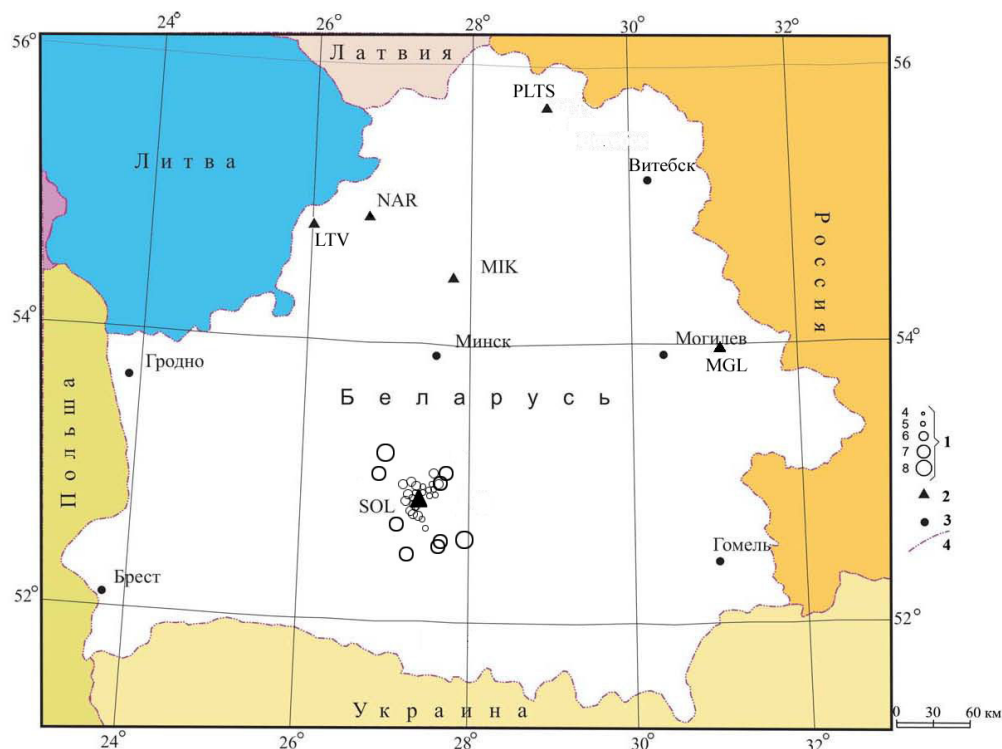
измерение амплитуд и периодов сейсмических волн. Обработка сейсмической информации проводилась в трёх режимах: 1) срочном, связанном с составлением и подачей сводки срочных донесений о сильном или ощутимом землетрясении примерно через час после регистрации события; 2) оперативном, с более полной обработкой сейсмических событий за истекшие сутки; 3) в режиме станционной обработки данных с составлением ежедекадных бюллетеней. Обработанные данные формировались в обзоры сейсмичности.

Сетью сейсмических станций в 2008 г. зарегистрировано и обработано 1314 землетрясений в разных регионах Земли в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний.

В результате анализа и обобщения сейсмологических данных (бюллетени сейсмических станций Беларуси) составлен *Каталог землетрясений* территории Беларуси за 2008 г., который содержит сведения о кинематических и динамических параметрах землетрясений и включает 35 сейсмических событий энергетического диапазона $K = 5,0-8,2$. Из них три землетрясения с наименьшим энергетическим классом произошли 19 июля в $07^h 52^m$, 14 августа в $23^h 49^m$ и 25 октября в $13^h 23^m$, а с максимальным – 21 февраля в $08^h 22^m$.

На рисунке 9.1 приведена *Карта эпицентров сейсмических событий*, составленная на основе каталога землетрясений Беларуси за 2008 г. Размер окружностей на карте соответствует землетрясениям энергетических классов $K = 5-8$. Ощутимых землетрясений в 2008 году на территории Беларуси не зарегистрировано.

В 2008 г. наблюдалось понижение уровня выделившейся суммарной сейсмической энергии $\Sigma E = 0,4276 \cdot 109 \text{ Дж}$ по сравнению с 2007 г. ($\Sigma E = 0,8681 \cdot 109 \text{ Дж}$). Кроме того, это значение остается ниже относительно среднего многолетнего значения $\Sigma E = 2,88 \cdot 109 \text{ Дж}$ за 25 лет (1983-2007 гг.) в 6,7 раза. Количество произошедших в 2008 г. сейсмических событий (35) незначительно меньше, чем в 2007 г. (36), и в 1,3 раза меньше среднего многолетнего значения $N_{\Sigma} = 46,64$. Распределение числа землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии



1 – энергетический класс $K = 4-8$; 2 – сейсмическая станция; 3 – населенный пункт; 4 – государственная граница

Рисунок 9.1 – Карта эпицентров сейсмических событий территории Беларуси, 2007 г.

по месяцам за 2008 г. представлено на рисунке 9.2, из которого видно, что высвобождение энергии происходило неравномерно в течение года. В начале года наблюдалось интенсивное выделение сейсмической энергии с максимумом в феврале. Затем происходил постепенный спад сейсмической энергии, а в июле увеличение, связанное с произошедшим сейсмическим событием $K = 8$. Максимальное число произошедших сейсмических событий N отмечалось в январе-марте и мае (диапазон энергетических классов $K = 5-8$), а минимальное количество

наблюдалось в декабре. Таким образом, вторая половина года характеризовалась более стабильным ходом наблюдаемых параметров как в высвобождении сейсмической энергии, так и в количестве сейсмических событий.

Обзор сейсмичности Европы и смежных областей. Всего на исследуемой территории в 2008 г. произошло 832 землетрясения с магнитудой $M \geq 3,0$ (рис. 9.3). На Европейском континенте наибольшая плотность эпицентров наблюдалась в Альпийском сейсмоактивном поясе. Здесь выделилась

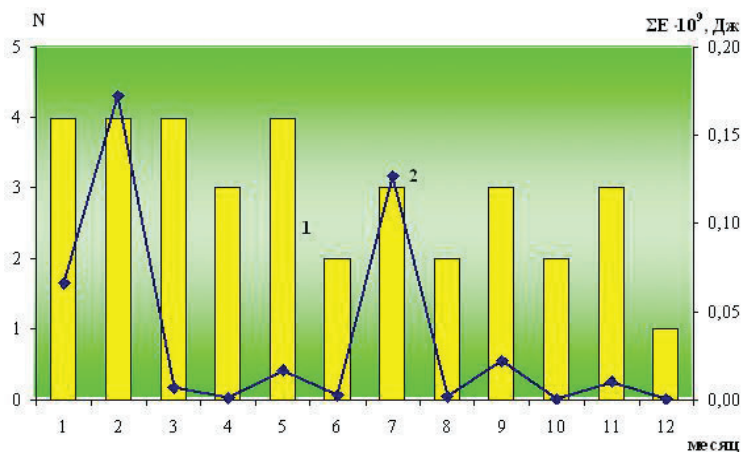


Рисунок 9.2 – Месячные значения числа сейсмических событий (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) за 2008 г.

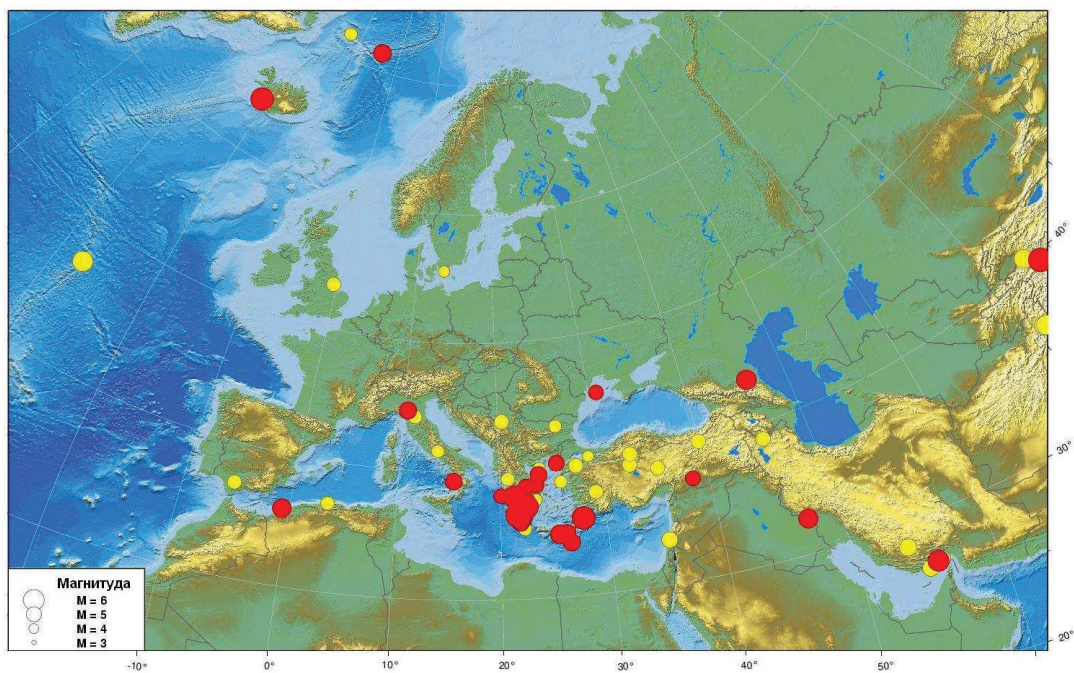


Рисунок 9.3 – Карта эпицентров землетрясений на территории Европы и смежных областей с $M \geq 3,0$, 2008 г.

основная часть суммарной сейсмической энергии за год, остальная её часть относится к внутриконтинентальной и океанической частям.

В 2008 г. произошло на 155 землетрясений меньше, чем в 2007 г., но больше среднего многолетнего значения ($N_{\Sigma} = 461,4$) за 10 лет (1998–2007) в 1,8 раза (рис. 9.4). В течение года наибольшее количество землетрясений (100) произошло в феврале, а наименьшее (56) в сентябре и ноябре.

Обзор сейсмичности Земли. Географическое распределение эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 6,0$, произошедших в 2008 г., показано на рисунке 9.5. В основном оно соответствует известной мировой

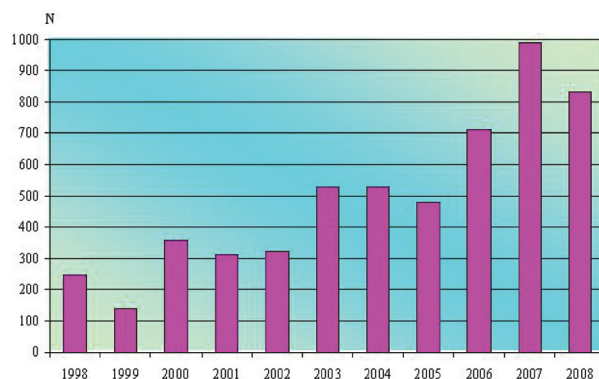


Рисунок 9.4 – Изменение во времени количества землетрясений на территории Европы с $M \geq 3,0$

статистике наблюдаемых на земном шаре землетрясений. Большая часть всей сейсмической энергии выделилась в Тихоокеанском

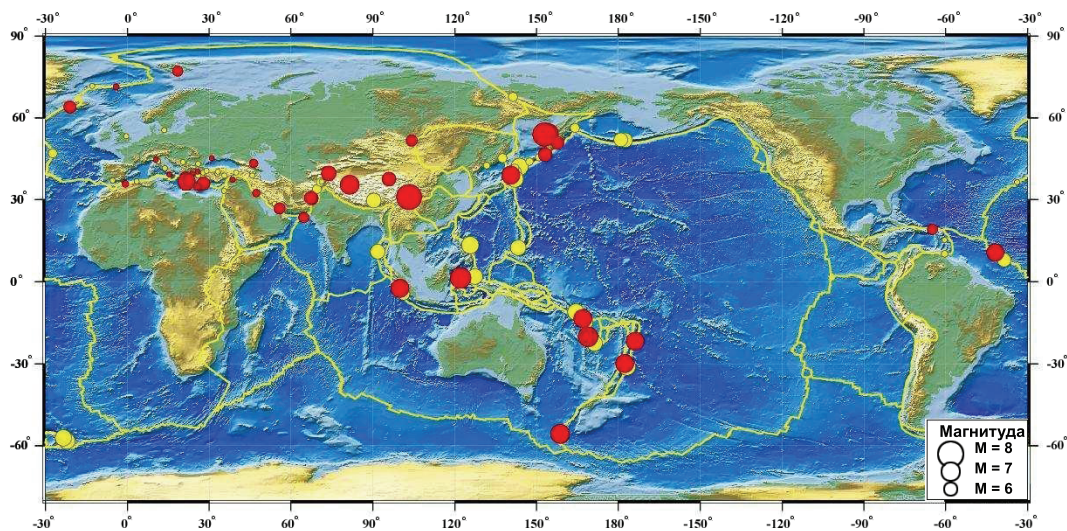


Рисунок 9.5 – Карта эпицентров землетрясений Земли с $M \geq 6,0$ за 2008 г.

сейсмоактивном поясе, остальная энергия приходится на Трансазиатский, Атлантический и Индийский сейсмические пояса и другие сейсмоактивные районы. Основная масса очагов землетрясений возникала на глубине $h \leq 70$ км, остальные гипоцентры формировались на глубинах 71–390 км и небольшая часть, приуроченная к зонам субдукции, имеет очаг залегания $h \geq 391$ км.

Общее количество землетрясений Земли (210), произошедших в 2008 г. с магнитудой $M \geq 6,0$, увеличилось по сравнению с 2007 г. (на 43) и больше среднего многолетнего значения (162,0) за 10 лет (1998–2007) в 1,3 раза.

Объектом *геофизических исследований* в 2008 г. являлась разломная зона контакта Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса и Центрально-Белорусской шовной зоны, расположенного между Белостокским на западе, Корелическим (Ивенецким) и южным окончанием Минского разлома на востоке, и создание Лидского локального геофизического полигона для изучения изменчивости гравитационного и магнитного полей в пространстве и во времени, выявления геоэкологически неблагоприятных, опасных для жизнедеятельности зон.

Продолжены работы по геодинамическому мониторингу зоны тектонического нарушения Полоцкого и Краснослободского разломов, соответственно, на Полоцком и Краснослободском локальных полигонах.

Локальный Лидский геодинамический полигон проложен в пределах Минской области от р. Западная Березина до г. Раков вдоль шоссе Вильнюс-Воложин-Минск. Пункты наблюдений расположены на расстоянии 1–3 км от указанной дороги (рис. 9.6).

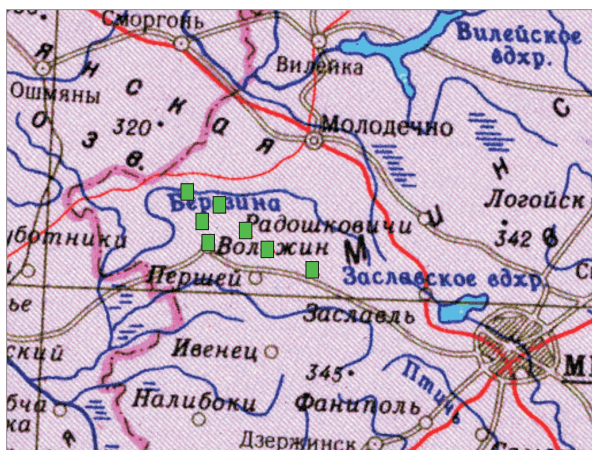


Рисунок 9.6 – Обзорная карта расположения локального Лидского геодинамического полигона

В геотектоническом отношении Лидский полигон расположен в зоне восточного краевого глубинного разлома Центрально-Белорусской шовной зоны (Корелический разлом), являющейся зоной стыка Фенноскандинавского и Сарматского геосегментов. Лидский участок попадает в высокоградиентную зону перехода от мощной литосферы (220 км) для Белорусской антеклизы к относительно маломощной литосфере на востоке. Он находится в области пониженной мощности земной коры (рис. 9.7).

На Лидском локальном геодинамическом полигоне заложены семь пунктов наблюдений: Бартоши, Криница, Дайнова, Большая, Воложин, Бурмаки, Доры, Тишковщина (рис. 9.8)

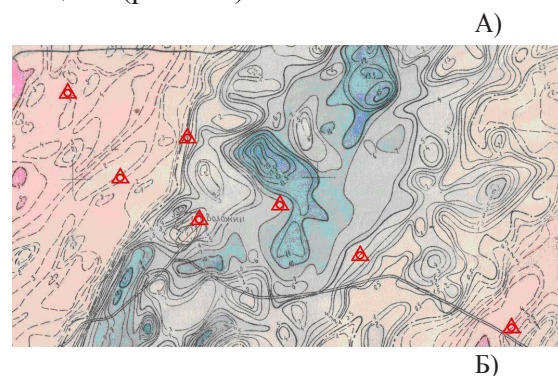


Рисунок 9.7 – Карта магнитного поля Лидского локального геодинамического полигона (А) и относительное положение зоны Корелического разлома (Б) на тектонической карте

Вблизи полигона, южнее, проходит геотрансект EUROBRIDGE, пересекающий Корелический разлом. По данным магнитотеллурических зондирований (МТЗ) этот разлом представляет собой зону шириной минимум 10 км, что отражается на поведении кривых кажущегося удельного сопротивления. Лидский полигон пересекает зоны повышенной электропроводности, которые являются источником аномального поведения во времени электромагнитного поля.

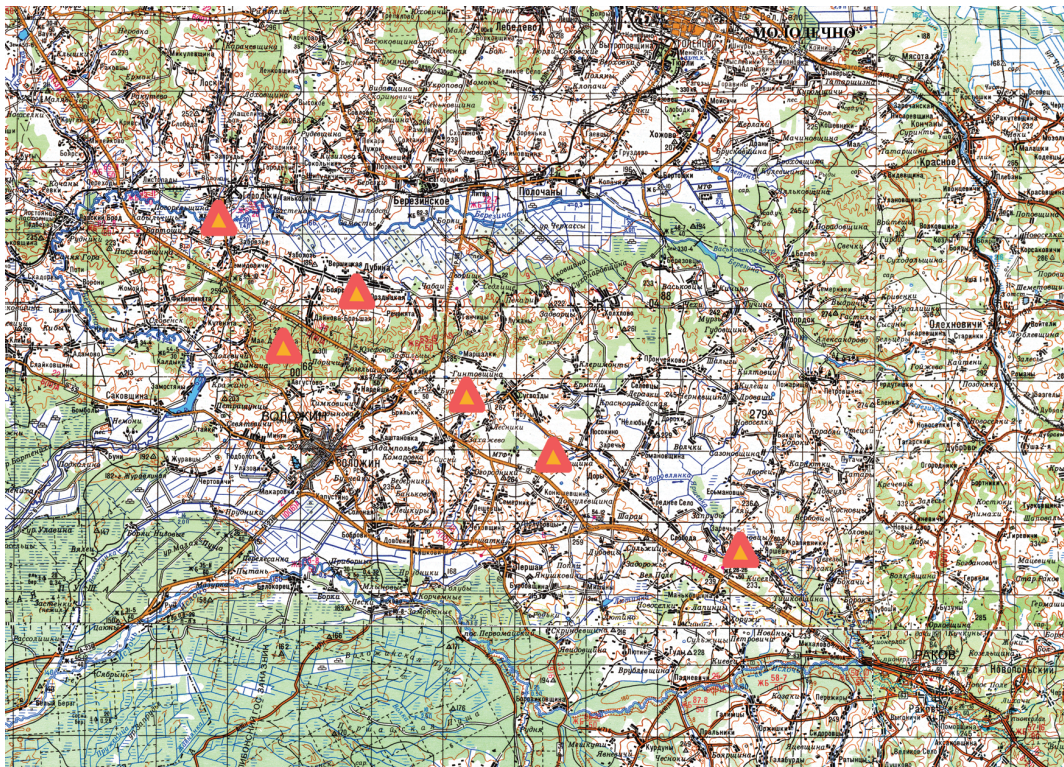


Рисунок 9.8 – Схема расположения пунктов наблюдений на Лидском полигоне

По данным глубинных сейсмических зондирований (ГСЗ) в зоне, контролируемой Лидским локальным полигоном, в верхней части земной коры Центрально-Белорусской шовной зоны зафиксировано резко выраженное высокоамплитудное (до 10-12 км) поднятие сейсмической границы с высокой граничной скоростью 6,65 км/с. В средней части коры на глубинах 25-30 км также прослеживается поднятие сейсмической границы с граничной скоростью 6,90 км/с с амплитудой 3-5 км. Поверхность Мохо практически горизонтальная на глубине 50-55 км, с весьма малым наклоном на запад. В нижней коре выделены наклонные на запад границы отражатели, прослеживаемые в земной коре Сарматского сегмента.

Анализ полученных данных свидетельствует, что в районе Лидского полигона глубинное строение земной коры и верхней мантии носит не только сложный, но и аномальный характер. Это, несомненно, должно проявиться в повышенной динамике земной коры района и требует тщательного изучения движений земной поверхности и связанных с глубинными процессами вариаций геофизических полей (в частности, поля силы тяжести и магнитного поля).

Сложность глубинного строения земной коры и верхней мантии в районе Лидского

полигона, высокая плотность разломов в литосфере, современная активная тектонофизическая обстановка – все это фиксируется в нестабильности поведения геофизических полей, переменности геофизического климата, в конечном счете отрицательно влияющего на состояние здоровья человека и стабильность функционирования сложных электротехнических приборов и сооружений.

В таблице 9.1 приведены результаты первых (базовых) измерений приращений поля силы тяжести между пунктами полигона.

Для ведения *мониторинга магнитных склонений на территории Беларуси* создана специальная сеть пунктов векового хода (ПВХ) (рис. 9.9).

Таблица 9.1 – Приращения поля силы тяжести между пунктами полигона

Названия пунктов	Приращения поля силы тяжести, мГал
Бартоши	0,000
Криница	6,342
Дайнова Большая	-5,210
Воложин	7,542
Бурмаки	2,562
Доры	-5,445
Тишковщина.	-22,832

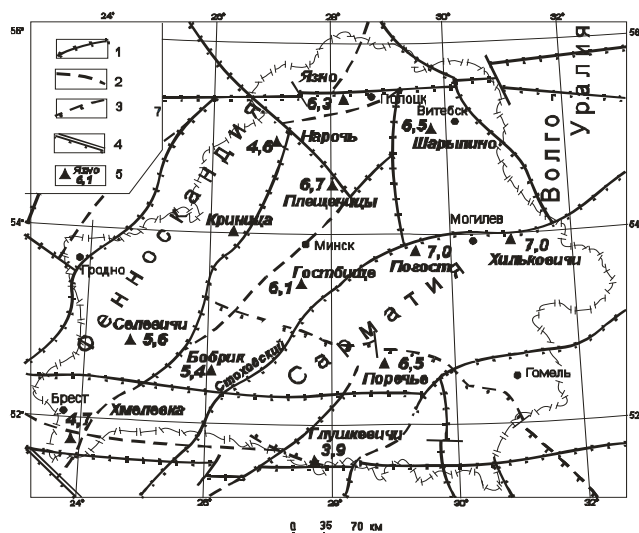


Рисунок 9.9 – Сеть пунктов векового хода геомагнитного поля

1 - глубинные разломы магнитного заложения, разграничивающие блоки земной коры с различным ее строением, 2 – внутриблоковые глубинные разломы мантийного заложения, 3 - Северо-Припятский и Южно-Припятский краевые разломы, 4 - граница Восточно-Европейской платформы, 5 - пункты векового хода геомагнитного поля, их названия и значения магнитных склонений в градусах (на эпоху 2001 г.)

На каждом пункте измеряют модуль полного вектора геомагнитного поля, склонение и наклонение. Результаты измерений сопоставляются для определенного момента времени с соответствующими значениями на ближайшей магнитной обсерватории относимости (Плещеницы в Беларуси и Бельск в Польше) и получают приращения измеренных параметров геомагнитного поля на конкретный момент времени. Затем по данным обсерватории вычисляют средние годовые значения компонент на год измерений и на ПВХ определяют среднегодовые значения компонент геомагнитного поля. По разностям таких значений для разных лет определяют вариации геомагнитного поля.

Магнитное склонение служит для ориентировки линий и маршрутов в пространстве и широко используется при решении различных научно-производственных задач, в частности при бурении наклонных скважин, при выносе в натуру и строительстве атомных и гидроэлектростанций, линий электропередач, метрополитена, для обеспечения аэронавигационных карт, где по всем маршрутам воздушного движения приводятся значения магнитных склонений, при сертификации аэропортов и заводов по созданию и ремонту авиатехники и т. п.

На территории Беларуси магнитное склонение в режиме мониторинга измеряется: на магнитной обсерватории Плещеницы – Центром геофизического мониторинга НАН Беларуси, а на 13-ти пунктах векового хода геомагнитного поля – Институтом природопользования НАН Беларуси.

Анализ результатов изменения скорости магнитных склонений показывает, что магнитное склонение существенно изменяется во времени (рис. 9.10). По данным наблюдений на обсерватории Плещеницы за последние 46 лет магнитное склонение увеличилось на $2^{\circ}05'$ (с $5^{\circ}02,7'$ в 1960 г. до $7^{\circ}07,7'$ в 2006 г.), а на обсерватории Бельск за период с 1966 г. по 2005 г. – на $2^{\circ}30,5'$ (с $2^{\circ}04,2'$ до $4^{\circ}34,7'$). В среднем по данным обеих обсерваторий магнитное склонение нарастает с градиентом около 3-4 мин/год, хотя на отдельных временных интервалах этот рост достигает 6-8 мин/год. Это согласуется с данными наблюдений на других европейских обсерваториях (например, в Лондоне, Париже и Риме за последние 100 лет скорость роста магнитного склонения составляет около 6-8 мин/год). Следует отметить, что результаты наблюдений на Плещеницкой и Бельской обсерваториях выявили практически одинаковый ход кривых изменения скорости магнитного склонения во времени. Это обстоятельство свидетельствует об общем для Белорусско-Польского региона внешнем факторе возмущающего влияния не геомагнитное поле. За период 1970-2006 гг. наблюдалась тенденция к росту скорости магнитного склонения в среднем на 0,2 мин/год. При этом на фоне такого регионального роста скорости четко вырисовывается синусоидальность графиков с периодом около 20-22 лет, причем ход кривой позволяет прогнозировать очередной минимум скорости магнитного склонения в 2010 г. Интервал между минимумами скорости магнитного склонения соизмерим с полным циклом пятнообразования на Солнце, равным 22 года.

Модуль полного вектора геомагнитного поля имеет четкую тенденцию к увеличению с течением времени. При этом средние скорости изменения геомагнитного поля за последние 40 лет на обеих обсерваториях практически одинаковы ($24,5$ нТл/год на Плещеницкой

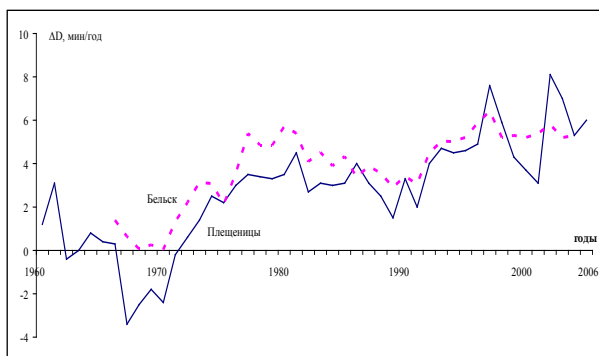


Рисунок 9.10 – Изменение скорости магнитного склонения на обсерваториях Бельск и Плещеницы

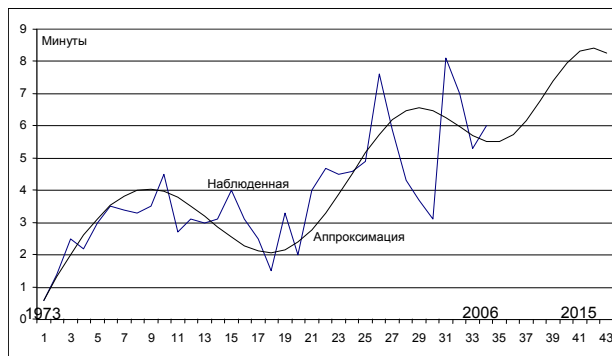


Рисунок 9.11 – Вековой ход приращения магнитного склонения и его аппроксимация на обсерватории Плещеницы

обсерватории и 25,4 нТл/год – на Бельской). Аналогичные скорости наблюдаются и на украинских магнитных обсерваториях: Одесса – 21,5 нТл/год, Львов – 25,7 нТл/год, Димер – 22,3 нТл/год.

Данные о временном ходе скорости магнитного склонения ΔD на обсерватории Плещеницы были аппроксимированы с точностью до 1 минуты с учетом региональной тенденции увеличения скорости магнитного склонения с течением времени и его синусоидальности (рис. 9.11). Результаты

аппроксимации позволяют прогнозировать возможные значения магнитного склонения как для обсерватории Плещеницы, так и для всей территории Беларуси. Для этого необходимо вычислить вероятные приращения магнитного склонения на прогнозируемый момент времени относительно базовой картины магнитного склонения, полученной на 2001 г. (рис. 9.12). Магнитное склонение на территории Беларуси имеет сложную пространственную структуру, существенно отличную от плавного хода нормального склонения.

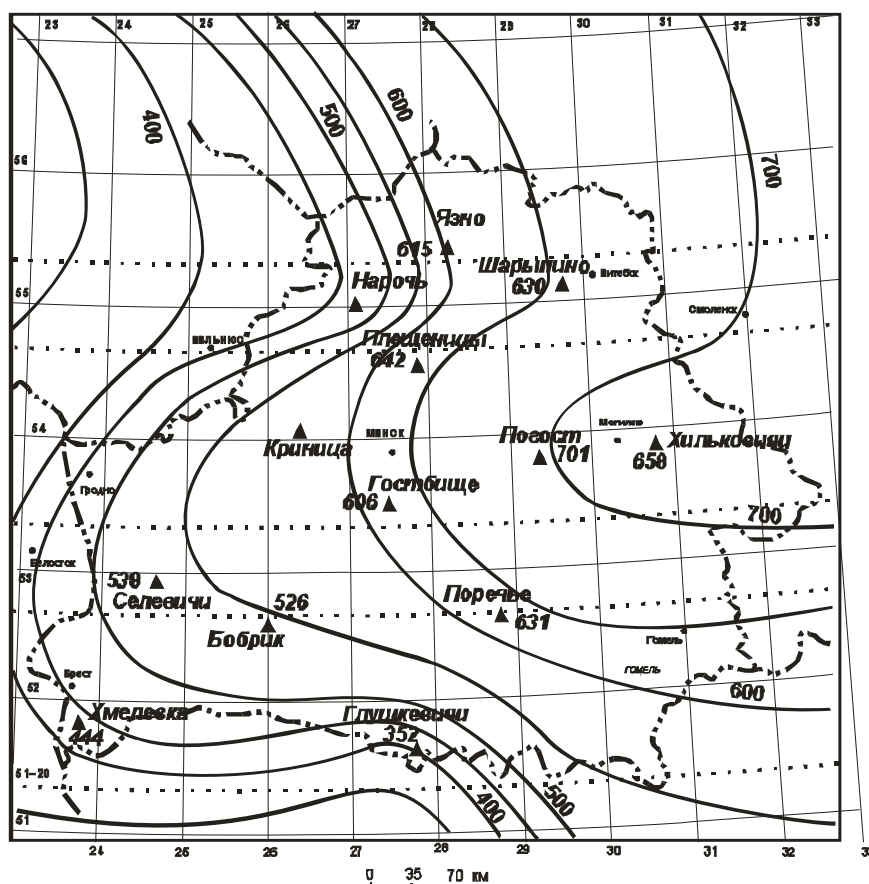


Рисунок 9.12 – Региональное изменение магнитного склонения на территории Беларуси (2001 г.) (первое число в изоэтах – градусы, два последних – минуты; изоэты – через 30 минут)