



ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Геофизический мониторинг на территории Беларуси проводится в целях:

- контроля за сейсмическим режимом, протекающими геофизическими и геодинамическими процессами;

- выявления повышенной тектонической активности в местах расположения экологически опасных хозяйственных объектов.

Обзор сейсмичности территории Беларуси

В 2007 г. сейсмологические наблюдения проводились на пунктах наблюдений Центра геофизического мониторинга НАН Беларуси: геофизических обсерваториях «Минск» (Плещеницы), «Нарочь» и сейсмических станциях «Солигорск», «Полоцк», «Могилев». На сейсмических станциях проводятся непрерывные инструментальные наблюдения за сейсмической обстановкой. Первичная обработка сейсмической информации состоит из последовательных этапов обработки: определение моментов вступлений сейсмических волн; определение знаков и чёткости вступлений сейсмических волн; измерение амплитуд и периодов сейсмических волн. Сейсмограммы на сейсмических станциях обрабатываются в трех режимах:

- срочном, связанным с составлением и подачей сводки срочных донесений о сильном или ощутимом землетрясении примерно через час после регистрации события;

- оперативном, с более полной обработкой сейсмических событий за истекшие сутки;

- в режиме стационарной обработки данных с составлением ежедекадных бюллетеней.

В результате анализа и обобщения сейсмологических данных (бюллетеней сети сейсмических станций Беларуси) составлен *Каталог землетрясений* территории Беларуси

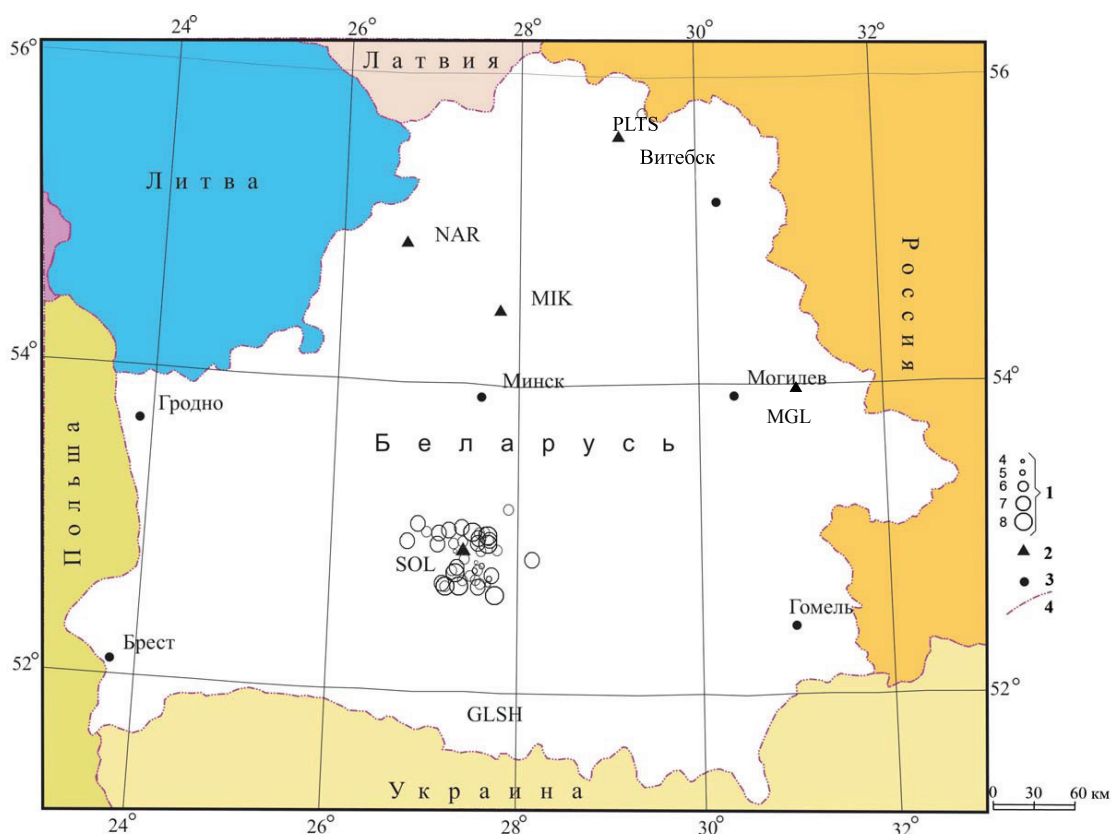
за 2007 г. В каталог вошло 49 сейсмических событий энергетического диапазона $K = 4,1-8,2$. Землетрясение с наименьшим энергетическим классом ($K = 4,1$) произошло 14 февраля 2007 г., а с максимальным ($K = 8,2$) – 17 января и 2 февраля 2007 года. Каталог содержит сведения о кинематических и динамических параметрах землетрясения.

Карта эпицентров сейсмических событий, в основу которой положен Каталог землетрясений Беларуси за 2007 г., представлена на рисунке 9.1. Размер окружностей на карте соответствует землетрясениям энергетических классов $K = 4-8$. Ощутимых землетрясений на территории Беларуси за период наблюдений не зарегистрировано.

Сетью сейсмических станций в 2007 г. зарегистрировано 1023 землетрясения в разных регионах мира.

На территории Беларуси количество произошедших сейсмических событий ($N=49$) равно многолетнему среднему значению $N=49$, а уровень выделившейся суммарной сейсмической энергии ($\Sigma E=0,8881 \cdot 10^9$ Дж) значительно ниже среднего многолетнего ($\Sigma E=2,8418 \cdot 10^9$ Дж). Распределение числа землетрясений и суммарной выделившейся сейсмической энергии по месяцам за 2007 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 январе-феврале. Затем произошел постепенный спад сейсмической энергии с минимальными значениями в августе-декабре. Максимумы числа произошедших сейсмических событий N приходятся на январь-апрель (диапазон энергетических классов $K=4-8$), небольшое увеличение – в июне-июле ($K=5-7$), а минимальные значения – в августе-декабре. Таким образом, вторая половина года характеризуется стабильным ходом наблюдаемых параметров, как в высвобождении сейсмической энергии, так и в количестве сейсмических событий.

Основная часть событий, зарегистрированных в 2007 г., приурочена к зоне сочленения северо-западной части Припятского прогиба и Белорусской антеклизы. Припятский прогиб расположен между Белорусской и Воронежской антеклизмами и



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.

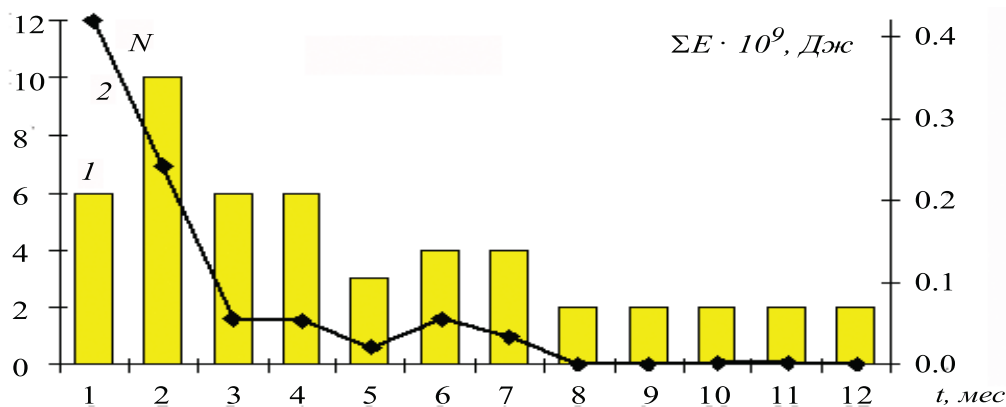


Рисунок 9.2 – Месячные значения числа сейсмических событий (1) и величины их суммарной сейсмической энергии (2) за 2007 г.

разделяющей их Жлобинской седловиной на севере и Украинским щитом на юге и включает Припятский грабен и Северо-Припятское плечо. Он протягивается в западно-северо-западном, близком к широтному, направлении на 280 км и имеет ширину до 150 км. От Украинского щита прогиб отделен Южно-Припятским краевым разломом, представляющим собой зону сбросов общей амплитудой по поверхности фундамента до 2-4 км. Северной границей прогиба на западе и грабена на востоке является

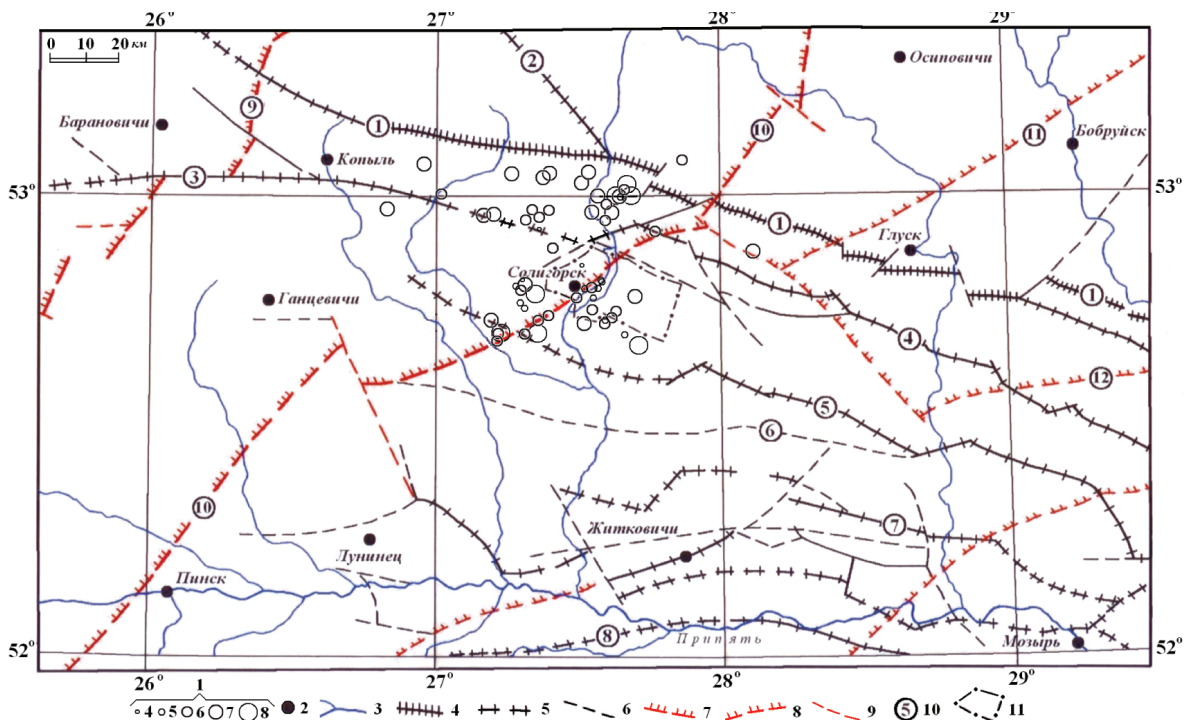
Северо-Припятский краевой разлом, состоящий из серии кулисообразно подставляющих друг друга разрывов типа сбросов с суммарной амплитудой до 2,0-3,5 км. На востоке северной границей Припятского прогиба служат Жлобинский и Малиновско-Глазовский разломы, отделяющие Северо-Припятское плечо от Жлобинской седловины. Полеская седловина отделяет Припятский прогиб от Подляско-Брестской впадины на западе, а Брагинско-Лоевская седловина – от Днепровско-Донецкого прогиба на востоке.

Сопоставление пространственного распределения очагов землетрясений с тектонической характеристикой региона показывает, что большинство разломов активны в сейсмическом отношении (рис. 9.3). Сейсмические события сконцентрированы вдоль разломов различного направления или их звеньев, т.е. слабые землетрясения в общих чертах трассируют разломы. Наблюдается приуроченность землетрясений к следующим разломам: субмеридионального простирания – Стоходско-Могилевскому и субширотного простирания – Северо-Припятскому, Ляховичскому, Речицкому, Червонослободско-Малодушенскому. Отдельные землетрясения попадают в зоны пересечения субмеридионального и субширотных разломов. Частично эпицентры сейсмических событий располагаются вдоль южной и западной границы шахтного поля Солигорского горнопромышленного района.

На территории *Европы и смежных областей* в 2007 г. произошло 620 землетрясений с магнитудой $M \geq 3,0$ (рис. 9.4).

Количество произошедших в 2007 г. землетрясений несколько меньше, чем в 2006 г. (654), но больше среднего многолетнего значения (486) за период 1999-2006 гг. На Европейском континенте наибольшая плотность эпицентров наблюдалась в сейсмоактивном поясе Альпийской складчатой системы. Здесь выделилась основная часть суммарной сейсмической энергии за год, остальная её часть приходится на внутриконтинентальную область.

Географическое распределение эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 6,0$, произошедших на *земном шаре* в 2007 г., в основном соответствует известной мировой статистике наблюдаемых на земном шаре землетрясений. Большая часть всей сейсмической энергии выделилась в Тихоокеанском сейсмоактивном поясе, остальная энергия приходилась на Трансазиатский сейсмический пояс и другие сейсмоактивные районы.



1 – энергетический класс землетрясений; 2 – населенный пункт; 3 – реки; 4-6 – разломы, проникающие в чехол (4 – суперрегиональные, ограничивающие крупнейшие надпорядковые структуры; 5 – региональные, ограничивающие крупные I, II порядка структуры; 6 – локальные); 7-9 – разломы, не проникающие в чехол (7 – суперрегиональные, разграничивающие крупнейшие области разного возраста переработки; 8 – региональные, разграничивающие крупные области разного возраста переработки; 9 – локальные); 10 – разломы (цифры в кружках: 1 – Северо-Припятский, 2 – Налибокский, 3 – Ляховичский, 4 – Речицкий, 5 – Червонослободско-Малодушинский, 6 – Копаткевичский, 7 – Шестовичский, 8 – Сколодинский, 9 – Выжевско-Минский, 10 – Стоходско-Могилевский, 11 – Кричевский, 12 – Чечерский); 11 – граница шахтных полей Солигорского горнопромышленного района

Рисунок 9.3 – Карта проявления сеймотектонических процессов в Припятском прогибе

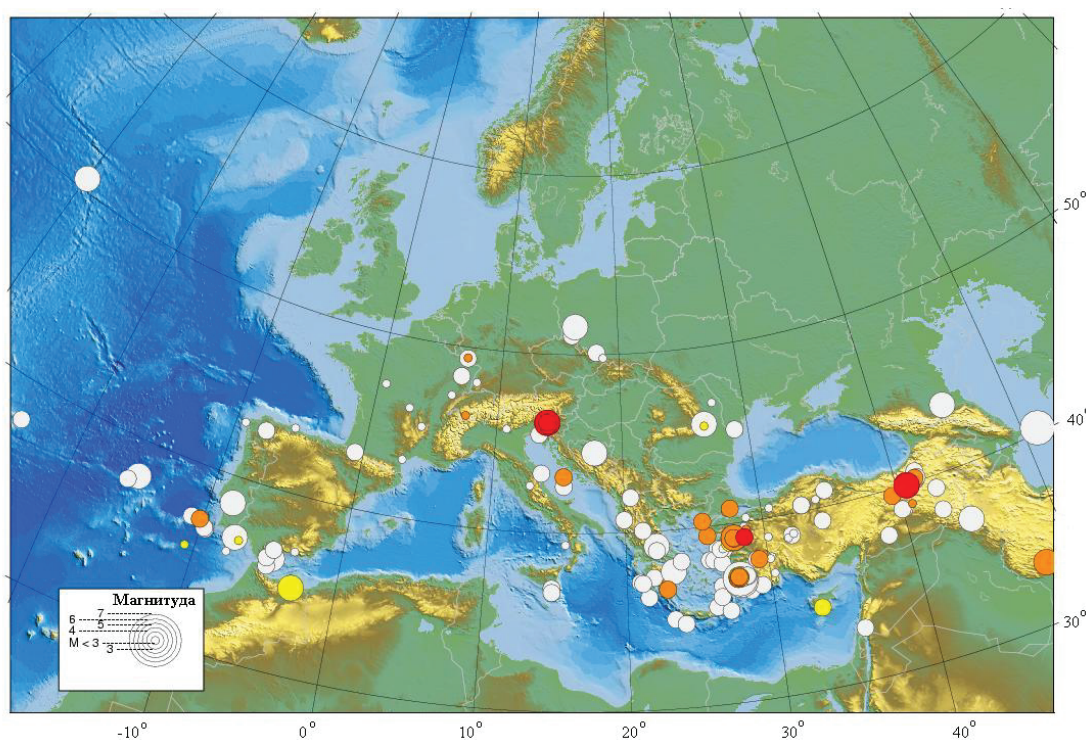


Рисунок 9.4 – Карта эпицентров землетрясений Европы и смежных областей с $M \geq 3,0$, 2007 г.

Изучение вариаций во времени и пространстве гравитационного и магнитного полей на территории Беларуси

В 2007 г. лабораторией физики Земли Института геохимии и геофизики НАН Беларуси осуществлялись мониторинговые исследования изменений во времени и пространстве гравитационного и геомагнитного полей Краснослободского и Полоцкого локальных геофизических полигонов, а также выявление геоэкологически неблагоприятных, опасных для жизнедеятельности объектов.

Краснослободский локальный полигон создан с целью установления аномальности поведения вариаций во времени гравитационного и магнитного полей в зоне пересечения полигоном Краснослободского глубинного разлома.

В 2004 г. был спроектирован первый локальный полигон по линии Новые Рачковичи, Чаплицкий Двор, Сад 3, Сад 2, Сад 1, Танежицы, Замошье, секущий Краснослободский разлом. В 2005 и 2006 гг. на этом полигоне выполнены гравиметрические и магнитометрические измерения. В 2007 г. в результате визуальной и инструментальной рекогносцировки, изучения материалов повторных геофизических наблюдений и детальных карт гравитационных и магнитных аномалий было решено Краснослободский

локальный геодинамический полигон заложить западнее г. Слуцк в 20 км по линии Лядно-Новые Рачковичи-Замошье-Большие Завшицы, общей длиной около 22 км.

Таким образом, Краснослободский локальный геодинамический полигон состоит из десяти геофизических реперов: *Лядно, Новые Рачковичи, Чаплицкий Двор, Сквер, Сад 3, Сад 2, Сад 1, Танежицы, Замошье, Бол. Завшицы (Взгорье)*. На рисунке 9.5 представлено положение Краснослободского локального полигона на топографической карте.

Краснослободский локальный геофизический полигон пересекает Северо-Припятский и Краснослободский региональные разломы и Стоходско-Могилевский разлом мантийного заложения, разделяющий Минский и Бобруйский блоки различной глубинной структуры земной коры. Полигон на севере пересекает границу, а на юге не выходит за пределы шахтного поля Краснослободского рудника. В геотектоническом отношении район исследований расположен в зоне восточного краевого глубинного разлома Центрально-Белорусской шовной зоны, являющейся зоной стыка Фенноскандинавского и Сарматского геосегментов. Краснослободский участок попадает в высокоградиентную зону перехода от мощной литосферы (220 км) для Белорусской



Линия профиля Краснослободского локального полигона

Рисунок 9.5 – Карта расположения Краснослободского локального полигона

антеклизы к относительно маломощной литосфере (100 км) для Припятского прогиба.

По данным магнитотеллурических зондирований кровля электропроводящего слоя находится на глубине от 10 км в центральной части до 18 км на периферии с одновременным увеличением проводимости с 50 до 200 См. В зоне полигона в верхней части земной коры зафиксировано резко выраженное высокоамплитудное (до 10-12 км) поднятие сейсмической границы с высокой граничной скоростью 6,65 км/с (данные глубинных сейсмических зондирований).

В средней части коры на глубинах 25-30 км также прослеживается поднятие сейс-

мической 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.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что в районе шахтного поля Краснослободского рудника глубинное строение земной коры и верхней мантии носит не только сложный, но, пожалуй, и аномальный характер. Это, несомненно, должно проявиться в повышенной динамике земной коры района и требует тщательного изучения

движений земной поверхности и связанных с современными глубинными процессами вариаций геофизических полей (в частности, поля силы тяжести и магнитного поля).

В таблице 9.1 приведены результаты измерения приращений поля силы тяжести между пунктами Краснослободского полигона в сравнении с предыдущими наблюдениями на части пунктов полигона.

Разность значений приращений поля силы тяжести (за два года) между пунктами Танежицы-Сад1, которая составляет -0,28 мГал, находится **существенно** за пределами ошибок измерений. В процессе многолетних наблюдений именно на этом участке лаборатория исследования процессов сдвижения горных пород и экологии ОАО «Белгорхимпрома» под руководством А.Ф.Даниловой выявила проседания земной поверхности.

Таким образом, гравиметрические исследования фиксируют изменения плотностного режима и дилатационных процессов в зоне Краснослободского разлома. Переход геофизической (дилатация) стадии процесса в геомеханическую (проседания) связан и сопровождается изменением напряженно-деформированного состояния. В этом интервале расположено висячее крыло Краснослободского разлома. Обычно смещение висячего крыла вниз относительно лежащего связано с воздействием силы тяжести. Процессы диастрофизма в естественных условиях вялотекущие, резкие движения маловероятны. Однако техногенный (горнотехнический) фактор способен катализировать характер протекания процесса, который может выражаться в виде резких кратковременных

сдвигов, интенсивных деформаций и других проявлений дифференцированных движений соседних блоков, разделенных разломом. Ориентировочно (по графическим данным) процесс происходит в пределах отметок -600-800 м. Наиболее вероятно развитие процессов в пределы висячего блока. Активированные тектонические разломы служат и путями циркуляции растворов со всеми вытекающими последствиями.

В 2007 г. начаты и в 2008 г. будут продолжены исследования по изучению влияния дилатационных процессов и изменения плотностного режима в зоне Краснослободского глубинного разлома на поведение гравитационного поля и на позицию высот земной поверхности.

В таблице 9.2 приведены данные измерения приращений геомагнитного поля на Краснослободском полигоне в июне-августе 2007 года.

В опытном порядке было проведено определение идентичности протекания геомагнитных вариаций на пунктах полигона Сквер, Сад-3, Сад-2, Сад-1 и Танежицы, расположенных в зоне Краснослободского разлома и в точке установки магнитовариационной станции (МВС) Новые Рачковичи, которая находится за пределами зоны влияния разлома на геомагнитное поле. Несмотря на слишком кратковременные промежутки измерений, высокая синхронность замеров (с точностью до секунды) позволила выявить довольно устойчиво, малоразмерные, превышающие пределы точности приборов, сверхкратковременные аномальные вариации геомагнитного поля и провести

Таблица 9.1 – Результаты гравиметрических наблюдений на Краснослободском полигоне за период 2005-2007 гг.

| Пункты полигона | Приращения поля силы тяжести по годам | | | Вариации поля силы тяжести | | |
|-----------------|---------------------------------------|---------|---------|----------------------------|-----------|-----------|
| | 2005 | 2006 | 2007 | 2006-2005 | 2007-2006 | 2007-2005 |
| Лядно | 0,000 | 0,000 | 0,000 | | | |
| Н.Рачковичи | | | -8,710 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Чаплицкий Двор | -14,020 | -13,902 | -13,835 | +0,118 | +0,067 | +0,185 |
| Сквер | -3,990 | -3,886 | -3,117 | +0,104 | -0,073 | +0,031 |
| Сад 3 | | | -0,842 | | | |
| Сад 2 | -0,157 | -0,162 | -0,117 | -0,005 | +0,045 | +0,040 |
| Сад 1 | -0,240 | -0,293 | -0,293 | -0,053 | 0,000 | -0,053 |
| Танежицы | -1,085 | -1,128 | -1,365 | -0,043 | -0,237 | -0,280 |
| Замошье | -1,150 | -1,260 | -1,328 | -0,110 | -0,068 | -0,178 |
| Взгорье | | | -2,123 | | | |

Таблица 9.2 – Результаты измерений приращений геомагнитного поля между пунктами Краснослободского полигона в 2005 и 2007 гг.

| Название пунктов | 2005 г. | 2007 г. | | 2007 г., среднее | Вековой ход 2007-2005 гг. |
|------------------|---------|---------|--------|------------------|---------------------------|
| | | июнь | август | | |
| Лядно | | | | | |
| Н.Рачковичи | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Чапл. Двор | -454,0 | -455,7 | -457,2 | -456,4 | +2,4 |
| Сквер | | -89,8 | -88,5 | | |
| Сад3 | -94,0 | -7,0 | -5,2 | -95,2 | -1,2 |
| Сад 2 | -14,0 | -11,3 | -13,8 | -12,6 | +1,4 |
| Сад 1 | -2,0 | -13,0 | -3,1 | -3,1 | -1,1 |
| Танежицы | -82,0 | -78,3 | -86,0 | -86,0 | -4,0 |
| Замошье | -9,0 | -8,6 | -5,6 | -7,1 | +2,9 |
| Взгорье | | 4,4 | 3,0 | | |

сопоставление их амплитуд. Путем сравнения отклонений амплитуд геомагнитных вариаций между точкой и МВС на пунктах полигона выявлена их аномальность. Максимальная аномальность, наибольшие разности определены для пунктов Танежицы и Сад-1, расположенных в висячем крыле Краснослободского разлома (рис. 9.6). Менее значительное аномальное отклонение величины вариации отмечено между пунктами Сквер и Сад-3, Сад-2 и Сад-1, где линия полигона пересекает Краснослободский разлом в направлении лежачего блока.

Соотношение амплитуд и времени проявления вариаций в пунктах полигона и в точке установки МВС указывает на узколокальную и малоглубинную природу геомагнитной аномалии. Геоэлектрические процессы, магнитострикционные явления связаны с перемещениями вдоль плоскости сбрасывателя разлома под воздействием силы тяжести. Переменное геомагнитное поле индуцируется в тектонофизическом очаге и распространяется по телу разлома.

Полоцкий локальный полигон

В 2007 г. были проведены повторные гравиметрические и магнитометрические измерения приращений полей между пунктами Полоцкого локального полигона.

Для векового хода гравитационного поля в зоне Полоцкого разлома характерна положительная аномалия небольшой амплитуды – примерно до 0,3 мГал (рис. 9.7). Еще большая аномалия (до 0,5-0,6 мГал) наблюдалась в пункте Яново. Между пунктами Яново и Завыдрино проходит локальный субширотный разлом, выделяемый по аномальному полю силы тяжести. Яновский локальный разлом выделен по северному борту положительной аномалии силы тяжести овальной формы субширотного простирания, интенсивностью до 30 мГал. Размеры аномалии по широте – до 85-90 км, по меридиану – около 45-50 км. Южный конечный пункт Полоцкого локального полигона «Завыдрино» попадает в высокоградиентное поле северной части этой аномалии. По-видимому, наблюдающаяся вековая вариация гравита-

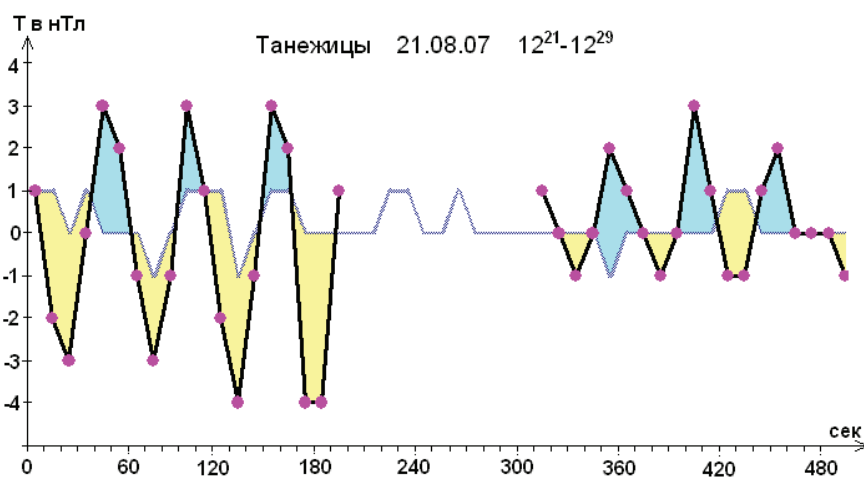


Рисунок 9.6 – Вариации геомагнитного поля на п. Танежицы

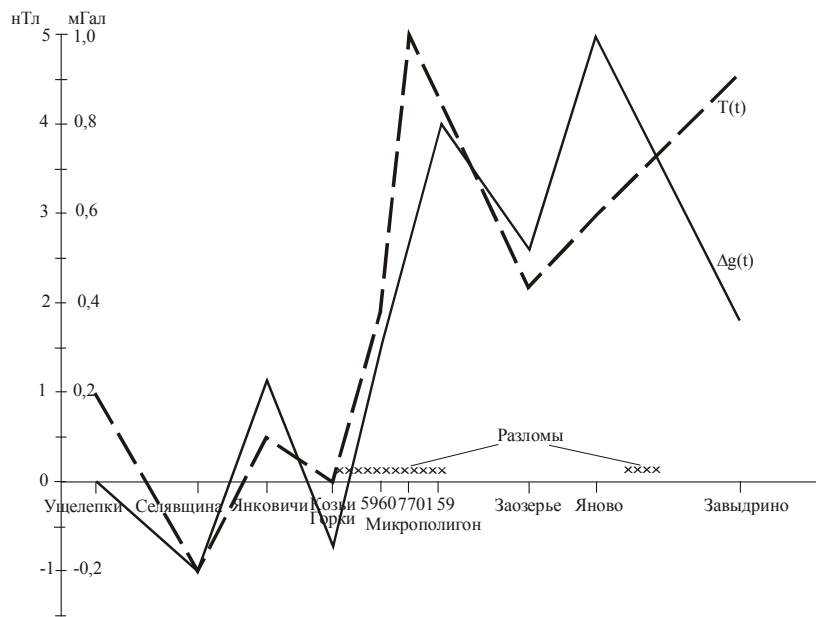


Рисунок 9.7 – Вековой ход гравитационного и магнитного полей на Полоцком полигоне

ционного поля связана с Яновским разломом и этой локальной аномалией силы тяжести.

Подтверждением и свидетельством реалистичности получаемых данных о вековых вариациях и их связи с особенностями современных тектонофизических процессов и разломной тектоники является факт корреляции графиков векового хода геомагнитного и гравитационного полей. Процессы на севере (в северном блоке) в интервале Ущелепки – Заозерье протекают в режиме стабилизации, накопления и релаксации энергии в виде раскристаллизации и породообразования внутриразломного вещества. На юге полигона Яново – Завыдрино, в отделяющемся от северного Яновским разломом южном блоке, процессы носят деструктивный характер динамоматаморфической направленности: приток глубинного вещества с содержанием черных металлов в условиях ослабленной разрушенной зоны разлома. Т. о., явно выделяются северный пассивный (гг. Полоцк и Новополоцк) и южный активный блоки, разделяющиеся активным Яновским разломом. Наибольшие изменения во времени значений геомагнитного поля приурочены к зоне субширотного Полоцкого разлома, проходящего между пунктами Козьи Горки и 59 и являющегося южным краевым ограничением Полоцко-Курземской зоны разломов. Перепад приращений между разломом и его южной и северной окрестностями достигает на севере в среднем 5 нТл, а на юге почти 3 нТл с четкой аномальной тенденцией.

Непосредственно в зоне Полоцкого разлома по материалам микрополигона наблюдается значительная изменчивость вариаций поля во времени с переменной знака: особенно резкое изменение поля отмечается в центральной части разлома в пунктах 7100 и 6284 – до 10 нТл. Изменения геомагнитного поля такого порядка наблюдались и на Краснослободском разломе в пределах небольшого промежутка времени. Возможно, на Полоцком микрополигоне зафиксирован тот же эффект, природа которого пока остается неясной (природный ли это эффект или техногенный?).

Анализ результатов геофизического мониторинга в 2007 г. на Краснослободском локальном полигоне, секущем Краснослободский глубинный разлом в западной части одноименного шахтного поля Солигорского промкомбината, установил, что в зоне этого разлома в настоящее время протекают глубинные тектонофизические процессы, проявляющиеся как в длиннопериодном изменении объема и плотности глубинного вещества (вековые вариации гравитационного поля), так и в локальных кратковременных (в пределах месяца и короче) «всплесках» гравитационного и магнитного полей.

Данные гравиметрических исследований (2005-2007 гг.) и результаты повторных нивелировок фиксируют изменения плотностного режима, дилатационных процессов и смещение (проседание) вниз висячего крыла Краснослободского разлома между

пунктами Танежицы–Сад1–Сад-2–Сад-3. Процесс происходит в пределах отметок (–600; –800) метров.

Обычно процессы изменения напряженно-деформированного состояния, связанные с воздействием силы тяжести, вялотекущие и резкие движения маловероятны. Однако влияние техногенного (горнотехнического) фактора может катализировать развитие процессов в пределы висячего блока в виде резких кратковременных сдвигов, интенсивных деформаций. Активированные тектонические разломы служат, в том числе, путями циркуляции флюидов.

Для векового хода гравитационного поля на *Полоцком локальном геодинамическом полигоне* характерно наличие положительной аномалии небольшой амплитуды, примерно до 0,3 мГал, в зоне Полоцкого разлома и аномалии (до 0,5-0,6 мГал), наблюдаемой в п. Яново. Между пунктами Яново и Завыдрино проходит локальный субширотный разлом, выделяемый по аномальному полю силы тяжести. Связь вековых вариаций с особенностями современных тектонофизических процессов и разломной тектоники хорошо фиксируется корреляцией графиков векового хода геомагнитного и гравитационного полей. Непосредственно в зоне Полоцкого разлома наблюдалась значительная изменчивость вариаций поля во времени с переменной знака: особенно резкое изменение поля в центральной части разлома – до 10 нТл.

Все изложенное свидетельствует о том, что приразломные тектонофизические процессы создают дилатационные и магнитострикционные эффекты, которые фиксируются в вариациях во времени гравитационного и магнитного полей.