

В. И. Алёхин, д-р геол. наук

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, Украина

Структурно-геодинамическое картирование при решении различных задач, связанных с приповерхностными деформациями горного массива

Рассмотрены теоретические основы структурно-геодинамического картирования (СГДК). Детально описан электромагнитный азимутальный способ структурно-геодинамического картирования (СГДК-А). Показаны его возможности для оценки и мониторинга современных приповерхностных деформаций покровных отложений на участках, действующих и закрытых шахт в черте города Донецка, а также других районов Донецкой области. Описана методика полевых исследований азимутальным способом структурно-геодинамического картирования, а также газовой съемки по подпочвенному воздуху. Рассмотрены вопросы усовершенствования методики обработки полевых данных СГДК-А с целью повышения достоверности геологической интерпретации результатов полевых геофизических наблюдений. Показаны преимущества СГДК-А перед традиционными геофизическими методами исследований при оценке современных геодинамических процессов в недрах. Приведены примеры использования азимутального способа структурно-геодинамического картирования при исследовании современной геодинамической активности крупных разрывных нарушений региона, выявлении геодинамически активных зон, нарушающих целостность жилых зданий и промышленных сооружений. Показаны возможности комплексного использования СГДК-А и газовой съемки при выявлении скоплений газа метана в угленосной толще на участках действующих и закрытых шахт города Донецка. Рассмотрены перспективы применения СГДК для решения задач геокартирования, поиска полезных ископаемых, инженерной геологии, геоэкологии.

Ключевые слова: структурно-геодинамическое картирование, азимутальный электромагнитный способ, геодинамическая зона, газовая съемка, деформации, метан.

Актуальной проблемой при строительстве жилых зданий и промышленных сооружений в районах подземных разработок является оценка напряженного состояния и приповерхностных деформаций горного массива вблизи дневной поверхности. Изменения этого состояния приводят к деформациям зданий и сооружений. Известны случаи и полного разрушения зданий в таких аномальных зонах. Хотя существуют методики расчета возможных деформаций дневной поверхности в зависимости от глубины разработки, скорости проходки горных выработок и других условий, полностью избежать негативного влияния подработок на состояния зданий и сооружений в населенных пунктах не удастся. Особенно трудно прогнозировать активизацию деформационных процессов в горном массиве вблизи крупных разрывных нарушений. Оценить современную геодинамическую активность горного массива и его структур классическими геологическими и геофизическими методами весьма сложно. Многолетний опыт исследований разрывных нарушений на разрабатываемых угольных месторождениях, а также на площадях, где подземные разработки отсутствуют, показывает, что активность этих структур меняется по простиранию и во времени [1]. Для оценки текущего геодинамического состояния горного массива в 70-е годы прошлого века Рябоштаном Ю.С., Горбушиной Л.В., Тахтамировым Е.П. был разработан комплекс методов структурно-геодинамического картирования (СГДК) [2, 3]. Основными методами СГДК являются эманационный (СГДК-Э) и электромагнитный азимутальный (СГДК-А). В основе методов лежит идея, что в поверхностном слое грунтов в современную эпоху формируются аномалии напряженного состояния и микродеформационные структуры, которые отражают современные геодинамические процессы в горном массиве. Эти аномалии и микродеформации изменяют концентрацию газа радона и других газов в почвах, а также влияют на электропроводность грунтов. Линейно вытянутые аномалии, выявляемые

методами СГДК, были названы геодинамическими зонами. Природа этих зон может быть тектонической и техногенной [1].

Во многих случаях геодинамические зоны могут являться зонами геолого-экологического риска [4]. Зоны геолого-экологического риска регионального масштаба хорошо выделяются с помощью методов дистанционных исследований (на космоснимках). На поверхности они часто имеют вид линейно-вытянутых элементов ландшафта, которые принято называть линеаменами. В таких зонах в коренном массиве наблюдается повышенная трещиноватость и мелкоамплитудные разрывы. Зоны пересекают участки с различными категориями рельефа, ландшафта, литофациальных и стратиграфических ассоциаций горных пород. Детальные исследования показывают, что в этих структурах наблюдаются закономерные изменения физических свойств горных пород: увеличение пористости и уменьшение механической устойчивости, изменения молекулярной влагоемкости, электропроводности, магнитной восприимчивости и др.

В комплексе СГДК метод СГДК-А выделяется как наиболее производительный. Этот метод позволяет оперативно оценивать текущее геодинамическое состояние массива и отдельных структур, а также проследить во времени эволюцию этого состояния. Метод позволяет работать в условиях города, как по грунтам, так и по дорогам с твердым покрытием (асфальт, бетон). Другая особенность метода – возможность работать по льду водоемов и морей.

Дальнейшее развитие структурно-геодинамического картирования в ДонНТУ позволило разработать несколько модификаций метода СГДК-А и аппаратуру для реализации этого метода. Был создана установка ЭФА – электронный фиксатор аномалий (рис. 1). Установка относится к классу приборов индуктивного профилирования и состоит из генератора и приемника, жестко закрепленных на одной диэлектрической штанге. Вся конструкция вращается в горизонтальной плоскости, что позволяет по вторичному (наведенному) электромагнитному полю оценить анизотропию электропроводности грунтов в различных направлениях. Статистически доказано, что существует фоновая анизотропия электропроводности грунтов. Глобальный фон характеризуется максимальной электропроводностью грунтов в меридиональном и широтном направлениях. Особенности геологического строения и геодинамическое состояние горного массива на конкретной территории может изменить фоновые ориентировки. В почвах в геодинамических зонах направления максимальной электропроводности резко изменяются, что и позволяет картировать такие зоны.

Измерения электропроводности на конкретной точке наблюдения проводятся путем фиксации замеров по кругу в горизонтальной плоскости через 30°. Начальный замер берется в направления на север (приемником на север) и далее по часовой стрелке через 30°. Всего на одной точке электропроводность грунтов измеряется по 12 направлениям. Тринадцатый замер является контрольным – повторяет замер в северном направлении. Исследования методом СГДК-А обычно выполняются в профильном варианте. Для детализации выявленных аномалий используется площадной вариант съемки. Пример выполнения полевых съемок СГДК-А прибором ЭФА в г. Донецке на поле шахты им. Засядько показан на рис. 1.

Для обработки данных СГДК-А и выделения аномалий используется специально разработанная методика. Эта методика базируется на выделении границ между группами пикетов, имеющих резко отличные ориентировки максимальной электропроводности в каждом из 4 секторов круга (показатель K1) и оценки степени отличия направлений максимальной электропроводности от глобального и местного фона в этих же секторах круга (показатели K2, K3). Местный фон определяется статистически по всей совокупности наблюдений, выполненных на конкретной площади. Аномалии СГДК-А выделяют по комплексу этих трех показателей. На профилях по аномалиям выделяются геодинамические зоны. Пример выявления геодинамических зон в центральной части г. Донецка показан на рис. 2.

Описанная методика предполагает ручную обработку полевых данных в виде специальных таблиц. С целью ускорения обработки данных, расширения информативности и повышения достоверности геологической интерпретации геофизических данных нами использованы новые подходы, отражающие идеи Ю.С. Рябоштана и опубликованные в последние годы [1].



Рис. 1 Полевые съемки прибором ЭФА на поле шахты Засядько

В основу этих идей заложен расчет коэффициента корреляции рангов Спирмена значений электропроводности грунтов между смежными пикетами профиля с учетом всех 12 направлений измерений. Эта методика обработки данных прошла апробацию на шахтных полях Донбасса, участках геодинамических исследований Крыма и России. Суть методики состоит в том, что если показатели по 12 направлениями на двух соседних пикетах не отличаются или отличаются слабо, то мы имеем однородное поле. В этом случае коэффициент корреляции рангов *rls* приближается к +1. На таких пикетах геодинамические зоны или активные тектонические структуры отсутствуют. Если показатель *rls* приближается к 0, то это является признаком геодинамической зоны. Если же этот показатель приобретает отрицательные значения и приближается к -1, то в этом случае мы имеем дело с активной геодинамической зоной и тектонической структурой.

Для расчета *rls* предложена формула [1]:

$$rls = 1 - [\sum(x_{i1} - x_{i2})^2] / 286, \text{ где}$$

x_{i1} – один из 12 замеров на точке; x_{i2} – один из 12 замеров на соседней точке.

Приведенная формула отражает широко используемый в геологии статистический метод оценки корреляции между двумя свойствами объекта при условии малых выборок и присутствии качественных оценок [5].

Автором данной статьи разработаны алгоритм и технология расчета показателя *rls* на основе стандартной программы для ПЭВМ Excel. Алгоритм включает в себя несколько этапов обработки данных. Сначала формируется электронная база полевых измерений, которая включает информацию о номере профиля, номере пикета наблюдения, координатах пикетов, измеренные значение электропроводности на каждом пикете по всем 12 направлениям.

Затем проводится нормирование значений электропроводности по максимальному значению на каждом пикете и вычисление рангов нормированных значений. В случае присутствия одинаковых рангов - выполняется корректировка рангов по традиционной методике [5].

На следующем этапе формируются два массива рангов по профилю, смещенных относительно друг друга на один пикет.

На последнем этапе по заложенному в программе Excel алгоритму проводится расчет *rls* и построения графиков *rls* по профилям. На профилях выделяются аномальные участки, соответствующие геодинамическим зонам различной активности (рис.3). При необходимости в этой же программе проводится сглаживание графиком.

Деформации зданий в аномалиях СГДК-А по ул. Розы Люксембург

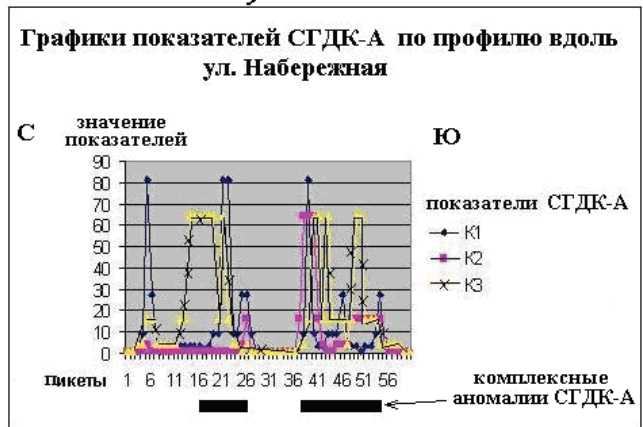
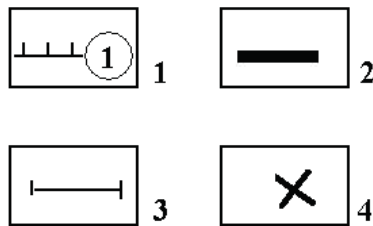
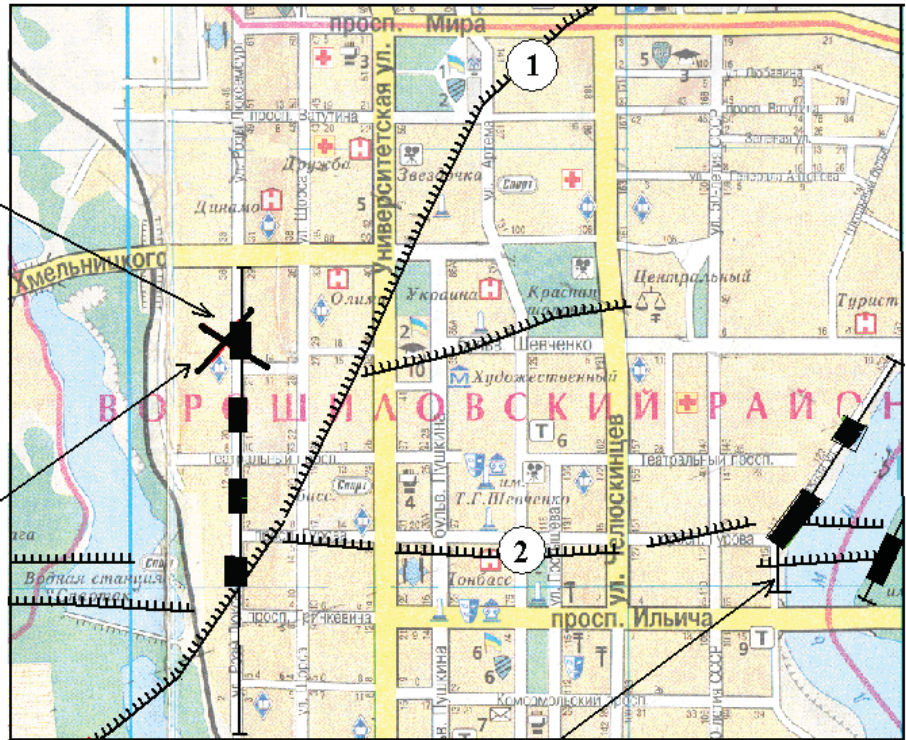
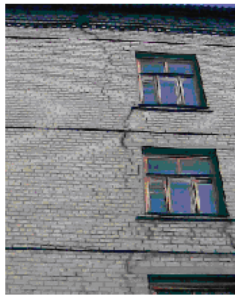


Рис. 2. Аномалии СГДК-А и деформации зданий, связанные с активизацией разломных зон в результате ведения горных работ (г. Донецк):

1 – разрывные нарушения (надвиги): 1 – Французский надвиг, 2 – Мушкетовский надвиг; 2 – участки аномалий СГДК-А по комплексу показателей; 3 – профили СГДК-А; 4 – участок интенсивных деформаций зданий

Все исходные данные, результаты расчетов и графики сохраняются в единой электронной базе и используются в дальнейшем для построения карт распределения показателя *rls* по площади в изолиниях программой Surfer. Эта же база используется для построения объемных моделей поля показателя.

Наиболее важной задачей структурно-геодинамического картирования являлось оценка устойчивости грунтов на площадках под жилищное и промышленное строительство, а также оценка влияния подземных горных работ на целостность зданий в населенных пунктах. Такие работы проведены нами в городе Донецке и других городах Донецкой области. Такие работы методом СГДК-А проведены нами в центральной части г. Донецка на участках ведения горных работ шахт им. Горького и Калинина (см. рис. 2). По геологическим данным на площади исследований под покровные отложения выходят два крупных надвига – Французский и

Мушкетовский. По данным СГДК-А эти разрывы представлены несколькими геодинамически активными аномалиями. На подработанных участках геодинамическая активность Французского надвига усилилась, увеличилась зона его влияния на уровне дневной поверхности. Все это привело к существенным деформациям жилых зданий на ул. Розы Люксембург. Следует отметить, что в этой же зоне в 1981 г разрушился жилой дом.

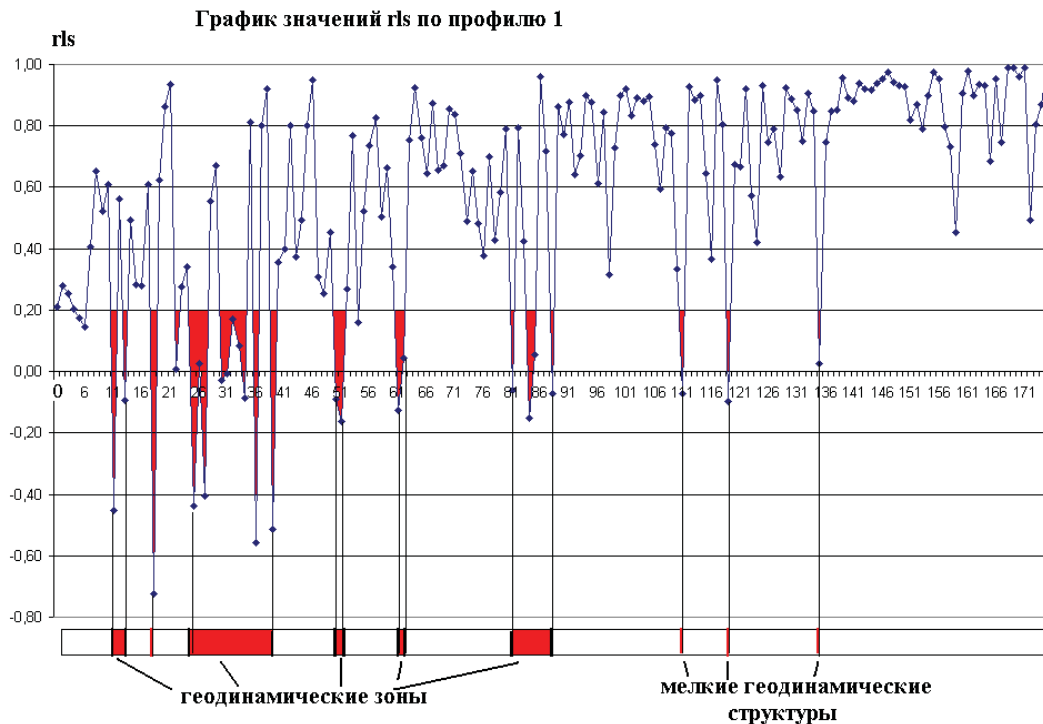


Рис. 3. Пример выделения геодинамических зон по показателю **rls** на профиле СГДК-А № 1 (поле шахты им. Засядько)

Работы, проведенные на участке проектируемого жилищного строительства микрорайона Широкий г. Донецка позволили выявить активные геодинамические зоны, в которых несущие способности грунтов резко снижаются. Было установлено, что наиболее проблемными для строительства являются узлы пересечения разнонаправленных геодинамических зон. Повторные съемки через год и два года, показали, что выявленные структуры активны в современную эпоху. Работы по строительству высотных домов на этом участке были приостановлены.

Такие же активные узлы геодинамических зон были выявлены на участке промышленных отходов в районе г. Докучаевска, где планировался отстойник жидких отходов. По результатам исследований было рекомендовано при планировании строительства учитывать положение выявленных опасных геодинамических структур.

Сравнительный анализ геодинамических обстановок по данным СГДК-А на разных участках исследований показал, что на подработанной шахтой им. Засядько территории плотность аномалий СГДК-А на единицу площади и их интенсивность намного превышает аналогичные показатели, полученные на участках, где подземные горные работы были прекращены 30 и более лет назад.

Следует также отметить, что на исследуемом участке поля шахты им. Засядько в узле пересечения геодинамических зон в грунтах были зафиксированы наиболее интенсивные аномалии углекислого газа, превышающие фон в 30 и более раз. Эти аномалии пространственно занимают положение над метаноносной зоной и зоной опасных газодинамических явлений по угольному пласту **m₃**.

На поле шахты «СоцДонбасс» были проведены комплексные исследования, включающие азимутальный метод СГДК-А и газовую съемку по подпочвенному воздуху. Для газовой съемки использовались приборы ШИ-10 и газоанализатор французского производства «МХ 2100». Пределы измерений концентраций метана прибором «МХ 2100» составляли 0,01 – 5,0 объемных %. В

результате исследований было установлено, что в узле пересечения геодинамических зон, выявленных методом СГДК-А, наблюдается интенсивная аномалия углекислого газа, превышающая пределы измерения прибора ШИ-10 (более 6 объемных %). В этой же структуре в водоеме наблюдалось суфлярные выделения метана (рис. 4), концентрация которого превысила пределы измерения прибора «МХ 2100» (более 5 объемных %).



Рис. 4. Суфлярные выделения метана из дна водоема на поле шахты «СоцДонбасс»

Сопоставление пространственного положения аномалий с разрывными структурами угленосной толщи (по данным горных работ) показало, что выявленный узел геодинамических зон отражает участок пересечения серии малоамплитудных разрывов. Аномальное выделение метана в поверхностных отложениях и водоеме свидетельствует о существовании больших скоплений этого газа на данном участке шахтного поля. Следует отметить, что эти суфлярные выделения наблюдаются уже несколько лет в узкой полосе в восточной оконечности водоема. В 2012 году характер их был пульсирующий с небольшими перерывами. С конца 2013 года наблюдаются непрерывные струи метана со дна водоема. Полученные данные говорят о возможности использования СГДК-А при поисках скоплений метана в недрах. При этом следует ориентировать работы на поиск узлов геодинамических зон и проверку их перспективности на метан с помощью газовой съемки по подпочвенному воздуху.

В заключение необходимо отметить, что важной отличительной особенностью метода СГДК-А, является возможность получения оперативной информации о современном геодинамическом состоянии массива и его структур. Метод в процессе мониторинга позволяет проследить изменения этого состояния в течение от нескольких часов до нескольких месяцев и лет.

Исследования методом СГДК-А в перспективе могут использоваться для решения самых различных задач: геокартирования, поиска полезных ископаемых, инженерной геологии, геоэкологии. При геокартировании успешно решаются задачи выявления скрытых под наносами разрывных нарушений и оценки их геодинамической активности, выявлении карстовых воронок. Метод азимутальной съемки СГДК может использоваться для обнаружения полезных ископаемых, связанных с разрывными дислокациями, для оценки устойчивости бортов карьеров, выявлении зон фильтрации из отстойников жидких промышленных отходов, выявлении потенциально опасных геодинамических зон, пересекающих железнодорожные пути, трубопроводы и другие коммуникации. Некоторые из названных задач решались методом СГДК-А в разные годы на территории Украины, России, в республиках Средней Азии и в Китае

Библиографический список

1. Селюков Е. И. Краткие очерки практической микрогеодинамики / Е. И. Селюков, Л. Т. Стигнеева. – СПб.: Питер, 2010. – 56 с.
2. О новом методе структурно-геодинамических исследований / [Б. С. Панов, Ю. С. Рябоштан, В. И. Алехин и др.] // Советская геология. – 1984. – №1. – С. 66–75.
3. Геодинамическое картирование: методы и аппаратура / В. И. Алехин, А. Я. Аноприенко, А. В. Анциферов [и др.]. – Донецк: ДонНТУ, Технопарк ДонГТУ «Унитех», 2007. – 144 с
4. Геологія і корисні копалини України: Атлас / під ред. Л. С. Галицького. – К.: НАНУ, 2001. – 168 с.
5. Гуськов О.И. Математические методы в геологии: сборник задач / П.Н. Кушнарев, С.М. Таранов. – М.: Недра, 1991. – 205 с.

Надійшла до редакції 07.07.2013

В. І. Альохін

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна

Структурно-геодинамічне картування при рішенні різних завдань, пов'язаних з приповерхневими деформаціями гірничого масиву

Розглянуті теоретичні основи структурно-геодинамічного картування (СГДК). Детально описаний електромагнітний азимутальний спосіб структурно-геодинамічного картування (СГДК-А). Показані його можливості для оцінки і моніторингу сучасних приповерхневих деформацій покривних відкладень на ділянках шахт, що діють або закриті, в межі міста Донецька, а також інших районів Донецької області. Описана методика польових досліджень азимутальним методом структурно-геодинамічного картування та методом газової зйомки по повітрю підгрунтя. Розглянуті питання удосконалення методики обробки польових даних СГДК-А з метою підвищення достовірності геологічної інтерпретації результатів польових геофізичних спостережень. Показані переваги СГДК-А перед традиційними геофізичними методами досліджень при оцінці сучасних геодинамічних процесів в надрах. Приведені приклади використання азимутального способу структурно-геодинамічного картування при дослідженні сучасної геодинамічної активності крупних розривних порушень регіону, виявленні геодинамічно активних зон, що порушують цілісність житлових будівель і промислових споруд. Показані можливості комплексного використання СГДК-А і газової зйомки при виявленні скупчень газу метану у вугленосній товщі на ділянках шахт міста Донецька, що діють або закриті. Розглянуті перспективи застосування СГДК для вирішення завдань геокартування, пошуку корисних копалини, інженерної геології, геоecології.

Ключові слова: структурно-геодинамічне картування, азимутальний електромагнітний спосіб, геодинамічна зона, газова зйомка, деформації, метан.

V. I. Alyokhin

Donetsk National Technical University, Donetsk, Ukraine

Structural-geodynamic mapping for solving different tasks connected with deformations of overburden deposits

The paper considers theoretical basis of structural-geodynamic mapping (SGDK). The electromagnetic azimuthal method of structural-geodynamic mapping (SGDK-A) is described in detail. Its possibilities for estimation and monitoring of modern deformations of overburden deposits on the areas of mines in Donetsk area are shown. Azimuthal method of structural-geodynamic mapping and gas survey on subsoil air is described. The questions of improvement of processing of the field data of SGDK-A with the purpose of increasing the geological interpretation authenticity are considered. Advantages of SGDK-A as compared to traditional geophysical methods for the estimation of modern geodynamic processes are presented. The examples of the use of azimuthal method of structural-geodynamic mapping for the research of modern activity of large region faults are shown. The prospects of using SGDK for solving the tasks of geomapping, search of minerals, engineering geology, geocology are considered.

Keywords: structural-geodynamic mapping, azimuthal electromagnetic method, geodynamic zone, gas survey, deformations, methane.