

УДК 502.057, 504.055

И.Б. Мовчан, В.С. Кузнецов, М.М. Малышкин, М.А. Куликова
РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ
ЛИТОСФЕРЫ КАК ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ

Цель апробации передвижного лабораторного комплекса наземного экологического мониторинга состоит в исследовании нарушений и загрязнений, отличающихся относительной временной стационарностью: геологической трещиноватости, радиационного фона, геохимических ореолов рассеяния. Мониторинг сопровождается аналитическими пересчетами и картографическими отображениями, допускающими представительные статистические оценки в пределах островной части мегаполиса как относительно изолированной экосистемы. Пересчеты включают районирование полигона по зонам стационарности пространственного сигнала, частотную узкополосную фильтрацию, аналитическое продолжение и моделирование волнового процесса. Завершающий пересчеты факторный анализ преобразовывает концентрации в геохимических ореолах рассеяния в интенсивность гипотетических эндо- и экзогенных процессов, определяющих корреляции в системе тяжелых, биогенных элементов и элементов, связанных с вторичной минерализацией. Вычислительные алгоритмы реализованы в ГИС-оболочке, допускающей дву- и трехмерные многослойные графические представления.

Ключевые слова: окружающая среда, геохимическая оценка, мегаполис, городские коммуникации, экосистема.

Данная работа представляет собой результат апробации подвижного лабораторного комплекса, ориентированного на мониторинг характеристических параметров загрязнений компонентов окружающей среды. В состав комплекса помимо стандартного оборудования (для оценки загрязнения атмосферы и воды) входят средства геофизического зондирования верхней части разреза, а также средства географической привязки натурных замеров. В качестве области реализации анонсируемого лабораторного комплекса выбрана одна из островных частей С. — Петербурга, Васильевский остров, по трем причинам:

- в пределах обозначенной территории расположен С. — Петербургский Горный Институт, представляющий собой единственную организацию в пределах указанного района,

способную выполнять площадные экологические, в том числе, геохимические оценки;

- островная часть мегаполиса может быть рассмотрена как относительно изолированная экосистема, в которой насыпные, укрепительные работы, обеспечивающие уплотнительную застройку и совершенствование городской сети коммуникаций, оказываются явное негативное воздействие как на здоровье населения, так и на остальные компоненты окружающей природной среды;

- в весенний и осенний интервалы отсутствия растительности, как барьера на пути миграции пылевой взвеси, и периодического таяния медицинская статистика демонстрирует всплеск легочных заболеваний, особенно в прибрежной части острова, а также в окрестности наиболее широких транспортных магистралей.

Учитывая изложенную проблематику, в качестве первой части задачи можно сформулировать организацию мониторинга и обобщения его результатов лишь по тем компонентам природной среды, где загрязнение дает относительно стационарную во времени картину. Стационарность (постоянство амплитудно-частотного состава сигнала) является необходимым условием постоянного негативного влияния антропогенного фактора или фактора среды на здоровье населения. Требование «стационарности» обуславливает оптимизацию мониторинга до:

- зондирования верхней части разреза методом георадара;

- исследования плотностного состояния верхней части разреза методом гравиразведки;

- измерения в почвах концентраций тяжелых элементов и элементов, относимых к биогенным и вторичным минерализациям;

- определения естественной и наведенной радиоактивности, в том числе, в задаче параметризации динамики активной пылевой компоненты загрязнений;

Кроме инструментальной части задача содержит интерпретационную часть. Она включает как поиск физических аналогий при истолковании особенностей в пространственном распределении геохимико-геофизических полей, так и обобщение этих пространственных распределений в виде многослойных цифровых карт.

Метод георадара представляет собой модификацию электромагнитного зондирования геологического полупространства, инструментально и алгоритмически оформленную по аналогии с зондированием сейсмическим. Измерение выполняется на постоянных разносах и частотах, определяющих предельную глубину зондирова-

ния, которая в нашем случае песчано-глинистого разреза составляет от 12 до 15 м. Основной фокус необходимо делать на выявление син- и антиформ, линз, обводненных областей, а также резких скачков в структуре волнового георадарного разреза.

Гравиметрический метод реализован с использованием классических кварцевых астазированных систем по полигональной сети пикетов, равномерно закрывающих площадь полигона с шагом 350—400 м. Пикеты располагались на максимальном удалении от зданий, по возможности, в окрестности проявления трещин по фасаду домов и просадок. Замеры выполнялись по всему острову в течение 2—3 дней и повторялись с месячным интервалом в течение полугода. В отсутствие опорной сети применялся простейший метод уравнивания гравиметрических наблюдений по Боярскому-Мудрецовой. Результат имеет вид системы карт остаточных аномалий гравитационного поля, полученных вычитанием из поля его трендовой компоненты, оцениваемой методом оптимальной низкочастотной фильтрации.

При исследовании почв пробы отбирались на участках, не используемых для декоративных клумб и не содержащих свежезасеянную траву, где почва регулярно обновляется. На избранных участках для повышения достоверности геохимических оценок пробоотбор выполнялся с глубины не менее 5 см с географической привязкой. Объем пробы стандартно составлял 250 г, что допускало реализацию повторных замеров. Лабораторная экспертиза осуществлялась методами рентгеноспектрального флуоресцентного анализа (исследование структуры характеристического спектра образца) и анализа содержания ртути (зеемановская модуляционная поляриза-

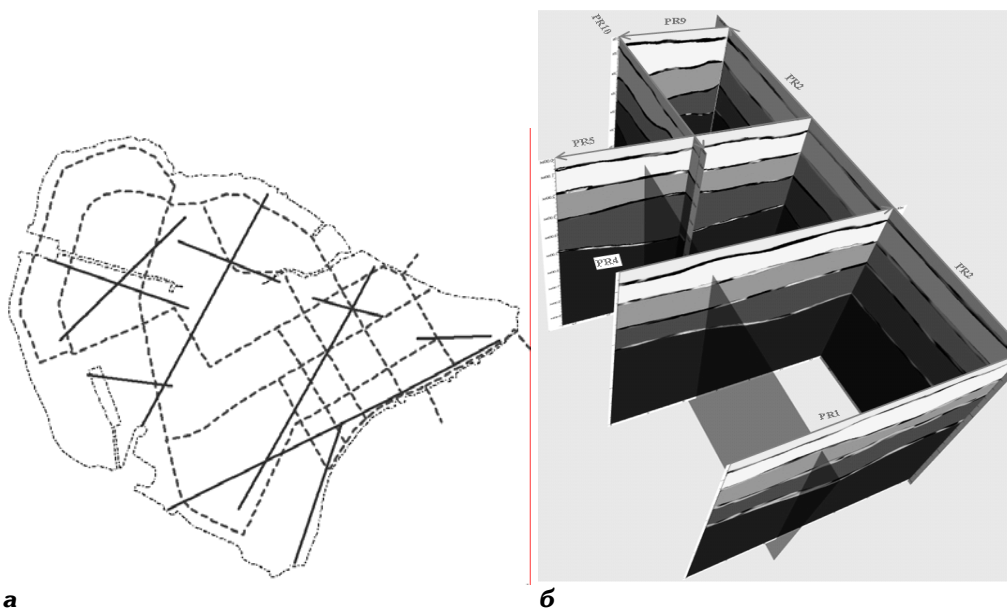
ционная спектрометрия с ВЧ-модуляцией). Количественная оценка выполнена по 11 элементам, а ее конечный результат имеет форму комплекта карт изолиний распределения концентраций каждого из элементов в пределах Васильевского о-ва.

Оценка радиационного фона опиралась на априорные представления о следующих источниках соответствующих аномалий в пределах Санкт Петербурга: изотопы, использованные в медицинских и технических целях и попавшие в слой почвы из-за небрежной их утилизации; гранитный материал с активными акцессориями; рентгеновские промышленные и медицинские установки с нарушенной защитой; естественные аккумуляторы, например, в окрестности водостоков, где способна оседать активная пылевая компонента. В качестве чувствительного элемента использовался счетчик Гейгера, при этом выяснилось, что основное внимание следует уделять активности гранитных плит, а также активности пылевой взвеси. Измерение последней выполнялось на природных пористых материалах (например, кора дерева) и на матерчатых фильтрах по регулярной системе пикетов. Результат имеет вид трех- и двумерных реконструкций динамики радиационного фона с решением задачи аналитического продолжения и временной экстраполяции.

Гравиметрия и георадарное зондирование проводились для подсечения наиболее крупных разломов. В случае гравитационного поля они выделялись преимущественно градиентными зонами, а также линейными участками резкой смены структуры карты изолиний. Во временном георадарном разрезе им соответствовали зоны обводнения, локальные при-

поверхностные флексуры, резкие перепады глубин в прослеживаемых поверхностях напластования. Как правило, линейная зона разлома трассируется по просадкам грунта, разрушающимся зданиям и пространственно коррелируется с элементами гидросети. При анализе структуры карт гравитационного поля использовалось районирование в скользящем окне, где оценивалась средняя периодичность геофизического сигнала по автокорреляционной функции [1], с получением начального приближения карты трещиноватости (рис. 1, а). Обработка временных георадарных разрезов осуществлялась стандартными методами миграции, деконволюции, подбором узкополосных частотных фильтров для контрастирования структурного облика верхней части разреза. Для наглядности итоговые структурные разрезы объединяются в трехмерную блок-диаграмму, в пределах которой межпрофильные корреляции допускают латеральное прослеживание крутопадающего дизъюнктива (рис. 1, б). Можно предположить, что зартированная система разломов представляет собой природные каналы, вдоль которых наблюдается эндогенная миграция геохимических элементов, например, обусловленная ненулевой динамикой смещений по плоскости геологических разломов.

Измерение радиационного фона, напротив, было ориентировано на косвенную количественную оценку экзогенной динамики загрязнений. Если исключить возможность наведенной радиоактивности со стороны техногенных источников, остается исследовать радиацию используемых в градостроительстве гранитных плит и радиацию пылевой взвеси. В отношении первого объекта наличие радиоактивных акцессорий обуславливает



а
б
Рис. 1. Результаты картирования геологической трещиноватости: а. пример трассирования градиентных зон в структуре гравитационного поля (жирные сплошные линии — трещиноватость, жирный пунктир – улицы, тонкий пунктир – береговая линия острова); б — пример реконструкции 3D-блок-диаграммы по системе георадарных разрезов (полупрозрачная плоскость – плоскость разлома)

повышенный фон, особенно в солнечную погоду на гранитных набережных р.Нева. Причем оказалось, что наиболее выраженным эффектом обладают гранитные блоки с выраженной текстурой на обработанной поверхности: полосчатостью, при наличии крупных, формирующих закономерный узор вкрапленников, а также залеченных трещин. По каждому такому блоку выполнялись замеры по регулярной пространственной сетке. При этом, полагая измеренное поле условно потенциальным, мы приходили к элементарной задаче интерполяции, которая допускала приблизительное оконтуривание в объеме гранитного блока источника радиации и оценку его удельного объема (рис. 2, а). Очевидно, использование гранитной крошки в ремонтных работах, как и эрозия гранитных блоков способно обусловить ненулевой

радиационный фон мигрирующей в пределах Васильевского острова пылевой взвеси. Сам факт ее радиационной активности определяется сравнением с исходно неактивным сорбирующим материалом. Миграция взвеси подчинена структуре ветрового потока и геометрии зон застройки, а в окрестности береговой линии острова (над водой) предполагается (по данным измерений) ее интенсивное рассеивание или осаждение. Мало изменяющаяся структура зон застройки определяет пространственную стационарность в распределении активной пылевой взвеси по площади полигона. Сравнение одновременных карт измеренного фона отражает лишь колебания активности пылевой взвеси, что создает образ некоторой волновой поверхности. В условиях, когда по контуру острова имеет место незначительный фон взвеси, эта волна

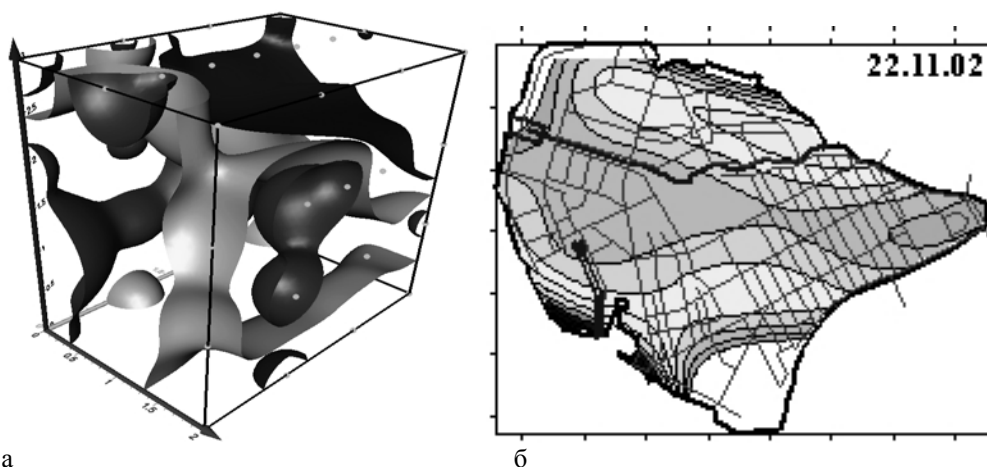


Рис. 2. Реконструкции пространственного распределения радиационного фона: а — пример решения интерполяционной задачи с оконтуриванием области повышенной радиации изоповерхностью (светло-серый цвет); б — пример применения волновой модели — формирование протяженной аномалии содержания активной пылевой взвеси в осенний период (черные линии — улицы)

определяется как стоячая, структура которой задает своеобразное полигональное районирование в распределении активной пылевой взвеси по Васильевскому о-ву (аналогия с опытом Бенара [2, 3]). Используемые волновые аналогии и моделирование структуры стоячей волны с учетом отвечающих натурным замерам граничных и начальных условий, позволили восстановить закономерность распространения активной пылевой взвеси: формирование в весенний и осенний интервалы протяженных аномалий, приуроченных к наиболее крупным транспортным магистралям (рис. 2, б). Очевидность этого результата (отсутствие растительного барьера, сложная геометрия этих магистралей и связанные с ними интенсивные воздушные потоки) не умаляет результата моделирования: мы показали, что эндо- и экзогенные процессы миграции загрязнений в пределах исследуемого района не коррелируются между собой.

Завершает задачу поиск закономерностей в структуре геохимических ореолов рассеяния. Каждый из

этих ореолов (для Hg, Sr, Rb, Cu, Fe, Ti, Zr, Zn, Pb, Ca и K) формально рассматривается как независимый признак, обладающий своей пространственной дисперсией и амплитудно-частотным составом. Различия по точности измерений и амплитуде между признаками устранялись методом стандартизации, после чего определялась матрица парных корреляций. На ее основе выполнялся R-метод факторного анализа: расчет собственных значений и собственных векторов матрицы с последующей редукцией числа собственных векторов с помощью метода дополнительного вращения, например, VARIMAX [4]. Каждый фактор, с одной стороны, отражает некий гипотетический процесс, определяющий пространственную корреляцию в семействе некоторых из исходных признаков (разнородных геохимических ореолов рассеяния), с другой стороны, имеет вид линейной регрессионной модели, допускающей пересчет наиболее коррелирующихся признаков в значения интенсивности этого гипотетического процесса (рис. 3). Со-

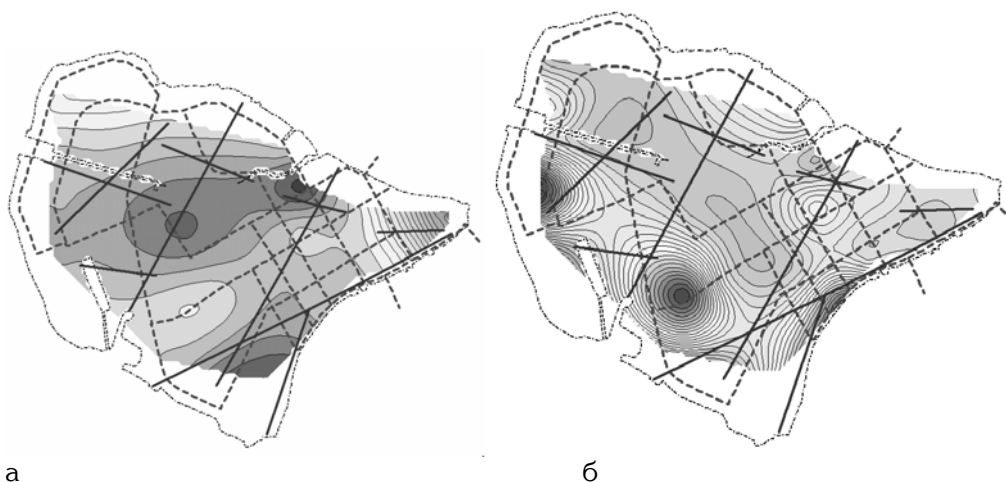


Рис. 3. Пример пространственного распределения факторов разного генезиса: а — фактор «экзогенный», описывающий пространственную корреляцию между ореолами рассеяния Zr, Rb, Ti и K; б — фактор «эндогенный», задающий пространственную корреляцию между ореолами рассеяния Sr, Rb и Hg

поставления с геометрией сети трещиноватости и со структурой пространственного распределения активной пылевой взвеси показывают, что миграция таких элементов как Zr, Rb, Ti, K и, независимо, Fe, Mn, Ca обусловлена преимущественно экзогенными процессами, а доминирующим фактором миграции прочих из указанных выше элементов являются эндогенные процессы, генетически связанные с геологической трещиноватостью.

Основной результат связан с разработкой интерпретационного подхода многокомпонентной экологической оценки. В задаче количественного описания факторов, пагубно влияющих на здоровье населения, выделены инструментальные методы изучения относительно стационарных компонент окружающей среды. Показано, что часть этих методов должна быть направлена на исследование структуры геологического

полупространства, а другая часть — на экзогенные источники загрязнений. Обязательное картографическое сопровождение позволяет выявить степень независимости эндо- и экзогенных факторов, способных определить геометрию геохимических ореолов рассеяния. Оценка динамики последних важна, поскольку геохимические ореолы способны играть как роль фона, стимулирующего жизнедеятельность, так и роль угнетающего фона. Любопытно, что факторы, охарактеризованные нами как эндогенные, имеют максимумы, тяготеющие к области пересечения геологических разломов. Качественно это объяснимо: с такими областями связаны повышенная проницаемость земной коры и геологические аномалии. Статистически именно области пересечения разломов определяют так называемые геопатогенные зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серкеров С.А. «Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке». — М., 1986. — 250 С.
2. Benard H. Ann. Chem. Phys. Vol. 23, № 62. — 1901.
3. Мовчан И.Б., Яковлева А.А. и др. Проявление ячеистого структурирования неравновесной экосистемы в распределении загрязнений на примере Васильевского острова». Журн. «Региональная геология и металлогения». — № 28. — 2006. — С. 56—71.
4. Дж. С. Дэвис. Математическая статистика в геологии. — М., 1977. — 315 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Мовчан И.Б. — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Геоэкология» Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В. Плеханова, e-mail: imovch@mail.ru;
Кузнецов В.С. — кандидат технических наук, ассистент кафедры «Геоэкология» Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В. Плеханова, e-mail: vvink2005@mail.ru;
Мальшкин М.М., Куликова М.А. — аспиранты кафедры «Геоэкология» Санкт-Петербургского государственного горного института им. Г.В. Плеханова.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД В ПРЕДРАЗРУШАЮЩЕЙ СТАДИИ НАГРУЖЕНИЯ

Гнитенко Виктория Валерьевна, старший преподаватель, ДВПИ им В.В. Куйбышева, e-mail: my_viktor@mail.ru

Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — 2011. — № 1. — 12 с.— М.: издательство «Горная книга».

Представлены экспериментальные исследования деформирования образцов горных пород при нагрузках, близких к разрушающим. Определены этапы разрушения образцов, на основании этих данных получены деформационные предвестники разрушения.

Ключевые слова: образец горной породы, деформационные предвестники, разрушение, испытания, тензометрия.

Gnitienko V.V. FEATURES OF DEFORMATION OF SAMPLES OF ROCKS IN PREFRACTURE STAGE OF LOADING

In this work experimental researches deformation of samples of rocks at the loadings close to destroying are submitted. Stages of destruction of samples are determined, on the basis of these data deformation harbingers of fracture are received.

Key words: sample of rock, deformation precursors, fracture, testing, strain measurement.