

Ученые записки Таврического национального университета имени В.И.Вернадского
Серия «География». Том 21 (60). 2008 г. № 1. С. 3-13

УДК 004.422.61:551.2(477.41)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ АКТИВНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Азимов А.Т.

В статье освещаются результаты изучения структурно-геодинамических особенностей зон аномального массопереноса комплексом дистанционных и геофизических методов исследований.

Ключевые слова: дешифрирование, элементарные линеаменты, структурные неоднородности, зоны аномального массопереноса

ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

После аварии на Чернобыльской АЭС особенно важным является определение роли геологической среды в перераспределении радионуклидов. И в первую очередь это касается зоны аэрации, где формируются основные потоки массообмена между поверхностью и подземными водами.

Данные последних лет [1–4 и др.] изучения факторов, которые влияют на динамику влаги и вторичное перераспределение радионуклидов в зоне аэрации разных ландшафтов, свидетельствуют об очень сложной структуре массообмена (жидкой и твердой фаз почво-грунтов). Перемещение влаги в покровной толще даже одного типа пород осуществляется неравномерно, а выборочно, по определенным каналам. Эти каналы связаны с граничными зонами структурных элементов определенных толщ (слоев, горизонтов, литологических комплексов).

Система литодинамических и ландшафтных структурных элементов, которые отличаются от фоновых участков по генезису, морфологии, инженерно-геологическим и водно-физическими свойствам, составляет определенную сеть зон, которые имеют аномально высокие миграционные свойства. Проекционная площадь этих зон, по предварительным расчетам [1, 4], достигает 10%, а их водосборная площадь нередко превышает 50% от общей площади территории Чернобыльской зоны отчуждение (ЗО). Данные исследований дают основание утверждать, что основная часть энергомассообмена в ландшафтных комплексах равнинных территорий проходит через аномальные зоны.

В ЗО ЧАЭС с целью изучения роли, которую данные структуры играют в процессах миграции радионуклидов, что приводит к загрязнению последними подземных вод, исследуются следующие полигоны: «Бенёвка», «Буряковка», «Новые Шепеличи», «Старые Шепеличи», а также площадка «Вектор». Комплекс геоинформационных технологий, которые при этом используются, включает основные разработки дистанционных аэрокосмических, геофизических, гидрогеологических и геологических методов. В частности, с помощью первых из них определяются структурно-тектонические особенности полигонов и окружающих их участков. Эти методы базируются на представлениях про-

унаследованности молодых и современных тектонических движений от предшествующих этапов развития земной коры.

Исходя из этого, нами при исследованиях полигонов по изучению зон аномального массопереноса применяется геоиндикационный (ландшафтно-индикационный) метод дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [5–9, 11]. Он основан на выявлении и распознавании на данных ДЗЗ разнообразных индикаторов, их совокупностей или закономерных объединений, которые связаны с геологическими объектами разной глубинности. Использование материалов космических съемок позволяет установить региональную тектоническую позицию каждой из площадей, а данных аэросъемки и детальных топографических карт – изучать их структуру, новейшую и современную геодинамику на локальном и объектовом уровнях.

В частности, в указанных работах констатируется, что критичные зоны большей частью характеризуются специфической геодинамикой обстановкой с аномальным поведением современных тектонических напряжений и геофизических полей. Они приурочены или тяготеют к узлам пересечения образованных элементарными линеаментами диагональных и ортогональных зон, которые индицируют структурную дифференцированность окружающих участков, главным образом связанную с нарушениями горизонтальной однородности слоев геологической среды. Установленные геодинамические субвертикальные зоны напряженно-деформационного состояния горных пород характеризуются повышенными миграционными свойствами.

Вместе с тем, останавливаясь на нерешенных раньше частях общей проблемы, укажем, что результаты приведенных работ не в полной мере отображают пространственно-корреляционные связи между выявленными на основании дешифрирования материалов дистанционных съемок (МДС) ландшафтными аномалиями в пределах зон интенсивного вертикального массопереноса с одной стороны и неоднородностями геофизических полей с другой. Результаты разных по своей физической природе методов приведены довольно отдельно друг от друга. Итак, основной целью настоящей статьи является комплексный сравнительный анализ совокупности этих результатов, более детальное обоснование геологической природы выделенных по данным ДЗЗ разнонаправленных линеаментных зон, опирающиеся на такие достижения современной геоинформатики, как компьютерные технологии.

ОСНОВНЫЕ ПОЛУЧЕННЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Ниже на примере Старошепеличского полигона [1–9, 11], в центре которого расположена морфоскульптура впадины замкнутого типа эллиптической формы длиной 150 м и шириной 100 м, ориентированная с юго-востока на северо-запад, рассмотрим некоторые результаты применения компьютерной обработки материалов дешифрирования данных ДЗЗ, детальных топографических карт и гипсометрических схем (Рис. 1) при геодинамических исследованиях зон аномального массопереноса. Прежде всего, указанные материалы – схема

площадного распределения элементарных линеаментов (Рис. 2) – формализовались в соответствии с технологической последовательностью с использованием геоинформационных систем, которая детально описана нами в работах [6, 7, 10]. В дальнейшем эти материалы компьютерно обрабатывались.

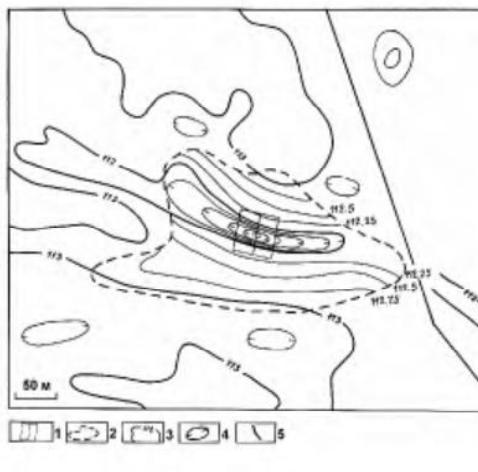


Рис. 1. Гипсометрическая схема рельефа дневной поверхности центральной части участка «Ст. Шепелевчи», масштаб съемки в районе полигона – 1:4 000:
 1 – местоположение полигона,
 2 – водосборная площадь замкнутой морфоскульптуры, 3 – изолинии превышения (в абсолютных величинах, м), 4 – впадины, 5 – автодорога.

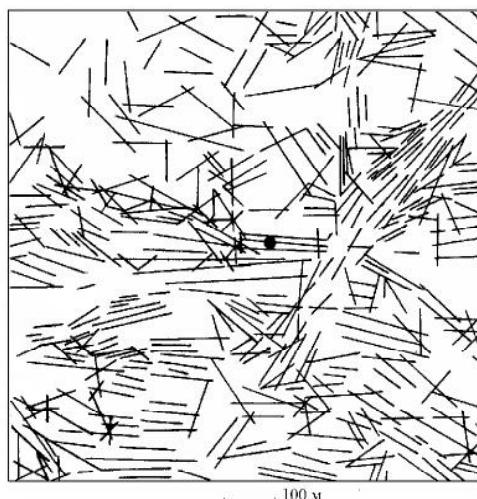


Рис. 2. Схема элементарных
линеаментов участка
«Старые Шепеличи»
(составлена по данным
десифрирования материалов
аэрофотосъемки
и топографических карт).
Жирным кружком указано
местоположение полигона.

В частности, хорошее наглядное представление о количественном площадном распределении элементарных линеаментов в районе исследований позволяют получить результаты их компьютерной обработки по плотности на единицу площади с использованием программы «Линеаментный анализ» по методу «скользящего замера» (или по способу «скользящего окна») при помощи палетки вытянутой формы [6, 7]. Размер данного «окна» выбирается эмпирическим путем таким образом, чтобы площади с нулевыми значениями плотности линейных элементов были минимальными. В случае если линейный объект имеет большую длину, чем геометрические параметры «окна», он разбивается на несколько отдельных линеаментов, количество которых устанавливается «скользящим окном». При этом значение суммарного количества всех линейных элементов относятся к

точкам в центрах равновеликих ячеек. Потом по этим точкам с помощью компьютерной программы «Surfer» строятся соответствующие схемы в изолиниях. Они и представляют собой схемы плотности линейных структур, которые соответствуют схемам геофизических полей не только внешне, но и по своей сущности. Поэтому для их обработки и анализа приемлемы все те приемы, которые применяются геофизиками. Прежде всего, это углубляет анализ полученных материалов и повышает объективность конечных результатов.

Схема плотности элементарных линеаментов всех азимутальных систем (или схема общего, интегрального поля линейных структур) позволяет четко выявить площади с повышенной трещиноватостью, а также узлы пересечения разнонаправленных зон трещиноватости. Они определяются по максимальным и повышенным показателям общей плотности, часто оконтуриваются изометрическими по морфологии аномалиями. Однако, именно из-за этого обстоятельства, которое обусловлено своего рода “интерференцией” разных по направлению линейных объектов, проследить в плане, очертить контуры отдельно взятой зоны на указанной схеме крайне сложно. В определенной степени это же касается и схем, которые получены вследствие вычисления интегрального показателя плотности элементарных линеаментов по какому-то из диапазонов азимутов их простирания. Например, для диапазона 49–76° (Рис. 3).

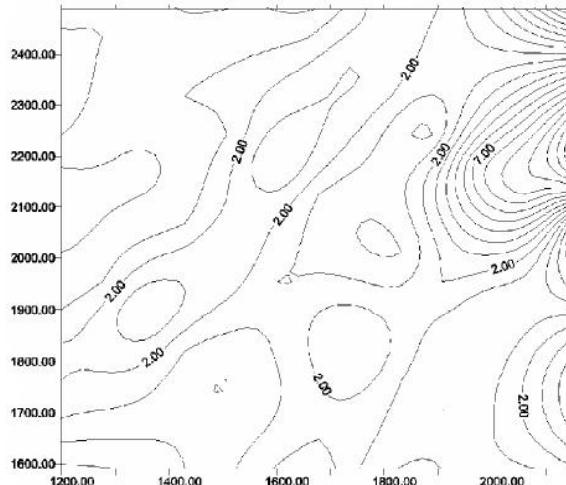


Рис. 3. Схема плотности элементарных линеаментов системы 49–76°
Старошепеличского участка (размер 0,95×0,90 км, координаты условные)

Во избежание описанных неудобств, а также для четкой пространственной локализации зон повышенной трещиноватости используется другой эффективный методический прием. Он состоит в том, что строятся посистемные схемы плотности линейных структур, как это указано в [10]. В этом случае в каждом конкретном “окне” суммируется количество линейных элементов лишь той или другой системы,

которые имеют то или иное направление. Ориентация “окна” определяется в соответствии с простиранием преобладающего количества линейных объектов в пределах каждой отдельной системы. Нами, в частности, конкретная азимутальная их принадлежность определялась опытно по результатам анализа гистограммы распределения по направлениям ([6], Рис. 4; [7], Рис. 5; [8], Рис. 2; [9], Рис. В; [11], Рис. 5).

Например, на схеме плотности элементарных линеаментов северо-восточной ($58^\circ \pm 4,5^\circ$) системы в пределах Старошепеличской площади по линейно вытянутым аномалиям повышенных и максимальных значений разной длины пространственно хорошо выделяются конкретные зоны, устанавливаются удлиненные области аномального геодинамического влияния предполагаемых участков разрядки напряженно-деформационного состояния горных пород (Рис. 4, А). Вероятно, что некоторые из указанных участков (или зон), а также образованных комбинациями определенных из них узлов характеризуются аномальным вертикальным массопереносом. Очевидно, это определяется связанным с современной геодинамикой обстановкой конкретным распределением региональных и локальных тектонических напряжений растяжения и сжатия по той или иной зоне. Для однозначного ответа на этот вопрос необходимы дальнейшие детальные исследования.

Так на указанной схеме абсолютный изометричный максимум с отметкой 12 и больше лин./а (лин. – линия, 1 а (ap) = 100 м²) наблюдается в крайней восточной части площади, ориентированная с юго-запад на северо-восток аномалия интенсивностью более 6 лин./а – в западной части (Рис. 4, А). Вместе с тем минимальные значения плотности элементарных линеаментов северо-восточной системы фиксируются в центральной, южной, северо-восточной и северо-западной частях Старошепеличского участка (до 1–2 и меньше лин./а).

Пониженные значения плотности свидетельствуют о преобладающем развитии в этих местах линейных объектов других азимутальных систем. В случае, когда эти значения группируются в четкие линейно вытянутые строго ориентированные аномалии, они могут указывать на наличие зон линейных элементов именно этих направлений. Часто на площадных схемах плотности указанные зоны прослеживаются неуверенно, тогда как на схемах плотности в трехмерном изображении они, рельефно выражаясь, могут хорошо идентифицироваться (Рис. 4, Б; [6], Рис. 5, Б; [7], Рис. 6, Б).

Для подтверждения геологической природы выделенных по МДС структур привлекается информационный комплекс геофизических методов исследований, среди которых геоэлектрические – метод вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) и метод становления электромагнитного поля, возбужденного коротким импульсом, а также магнитометрия, сейсмоакустический и георадарный методы, метод радон-тороновых эманаций [1–4, 7, 8 и др.]. Полученные данные апробируются также прямыми геологическими исследованиями: оценкой морфологии разрезов, химического, минералогического и механического состава горных пород их верхних частей, водно-физических и физико-механических

свойств данных пород, величин и скоростей влагоперетока с земной поверхности до уровня грунтовых вод и т.п. [1–4, 11].

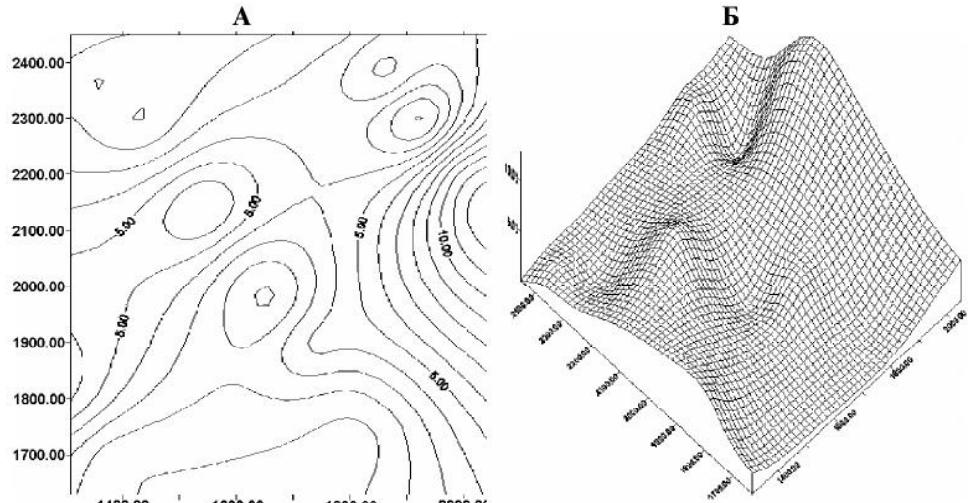


Рис. 4. Схема плотности элементарных линеаментов северо-восточной системы ($58^{\circ}\pm4,5^{\circ}$) участка «Старые Шепеличи» (размер $0,75\times0,85$ км, координаты условные):
площадное изображение (А), трехмерное изображение (Б)

В частности, кроме рекогносцировочных, которые охарактеризованы нами в [8], в пределах полигона «Ст. Шепеличи» выполнены [3, 4, 7 и др.] детальные геоэлектрические исследования методом ВЭРЗ. Они проведены по линии 1–1а вдоль профиля № 7 площадных работ методом становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП). Данная линия (профиль) пересекает центральную часть морфоскульптуры. Полученный геоэлектрический разрез освещает особенности строения площади до глубины 700 м (Рис. 5). Его анализ позволил установить нарушения фазы электромагнитного сигнала в точках наблюдений №№ 2, 5–6 (пологий юго-западный склон) и 9–10 (относительно крутой северо-восточный склон впадины). В первых двух случаях эти нарушения проявляются нечетко, а в третьем – отчетливо. В указанных местах можно предположить наличие дизъюнктивных нарушений. Последние, вероятно, ограничивают тектонически ослабленную зону северо-западного простирания (азимут 320°) шириной 25 м, которая пространственно совпадает с дистанционно выявленной линейной структурой той же ориентации. Зона прослеживается до глубины 500–600 и больше метров и может быть обусловлена тектоническими процессами в кристаллическом фундаменте.

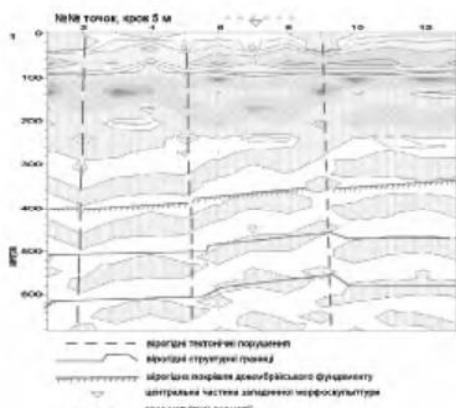


Рис. 5. Структура электромагнитного поля под впадиной вдоль профиля 1–1а на полигоне «Старые Шепеличи» (по данным метода ВЭРЗ [3, 4, 7] с дополнениями автора)

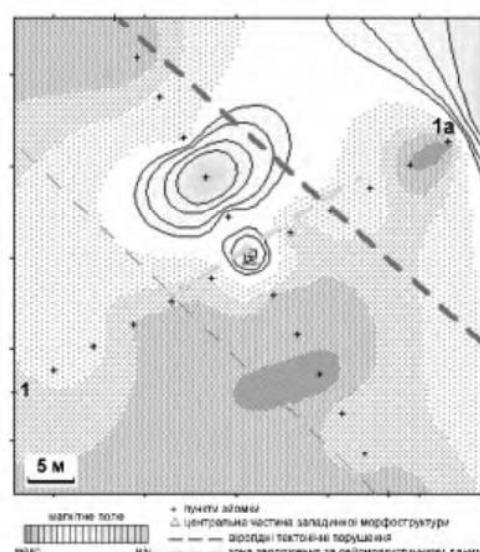


Рис. 6. Схема магнитных аномалий над впадиной полигона «Ст. Шепеличи» [3]

Кровля докембрийского ложа вдоль профиля 1–1а четко идентифицируется на глубинах порядка 400 м изменением характера геоэлектрического разреза. Так если в интервале глубин 100–400 м отмечается более однородная картина с повышенными относительно вышележащих значениями геоэлектрического сопротивления горных пород, то ниже отметок 300–400 м разрез характеризуется заметной расслоенностью. Учитывая продолжительность процессов и соответствующую глубину эродированности кристаллических образований, эта расслоенность может быть связана с наличием в породах фундамента субгоризонтальных зон разуплотнения, которые образованы вследствие тектонической региональной трещиноватости, палеоэррозионной дезинтеграции, выветривания, выщелачивания и т.п., а возможно и латеральных перемещений блоков горных масс в древние времена.

По результатам магнитной съемки в пределах полигона зафиксирована [3] очень интенсивная (свыше 300 нТл) положительная аномалия, а также выделено несколько отрицательных (интенсивностью –100 и меньше нТл) магнитных аномалий “деструктивного” генезиса (Рис. 6). Они расположены на пересечении следующих структур: выделенных по данным дешифрирования МДС и топокарт линейных объектов северо-западного и субширотного простирания, вероятной тектонической зоны северо-западного направления, а также пути миграции грунтовых вод субширотной ориентировки. Величина относительного аномального

магнитного эффекта, который обусловлен структурными неоднородностями полигона, достигает 400 и больше нТл.

В сочетании с данными метода ВЭРЗ, магнитной и сейсмоакустической [3, 4, 7 и др.] съемок по результатам геоэлектрического метода СКИП получена [3] карта увлажненности горных пород Старошепеличского полигона. На ней определены зоны относительной их увлажненности в интервале глубин 0–30 м и возможные пути миграции грунтовых вод в восточном и юго-восточном направлениях (Рис. 7).

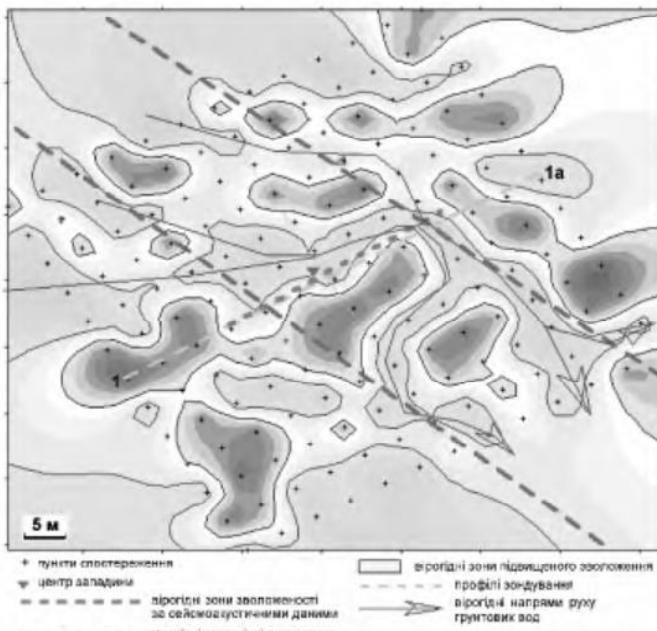


Рис. 7. Схема зон увлажнення пород в интервале глубин 0–30 м на полігоне «Ст. Шепеличі» (по даним електромагнітної, сейсмоакустичної і магнітної съемок) [3]

Эти пути в плане четко совпадают с отдешифрированными по МДС и топокартам неоднородными линейными зонами. Со своей стороны, впадина, расположенная в центре полигона, пространственно хорошо коррелируется с районом пересечения тектонически ослабленной зоны северо-западного простирания с указанным водным потоком. В пределах ослабленной зоны увлажнение пород наиболее интенсивное, а водный поток разветвляется на два рукава и частично проходит по площади зоны. Ширина пути миграции грунтовых вод в центральной части зоны достигает 30 м.

По данным метода георадарной съемки [1, 3, 4] самым выразительным элементом строения верхов геологического разреза в пределах полигона является выделенная руслообразная структура глубиной 1–1,5 м и шириной 4–8 м. Ее

поперечный профиль V-образный. Судя по особенностям разреза, “корни” данной структуры идут ниже водоносного горизонта в более глубокие пласты (Рис. 8). Хотя местоположение центральных частей впадины и данного объекта пространственно коррелируются довольно хорошо, тем не менее, простижение последнего не совпадает с ориентацией главных структур, которые четко проявляются в современном рельефе земной поверхности. Вместе с тем в плане указанная рулообразная структура совмещается с областью интерференции геодинамического влияния линейных объектов северо-западной и субширотной ориентаций, выявленных по данным дешифрирования МДС, таким образом, имея промежуточное направление.

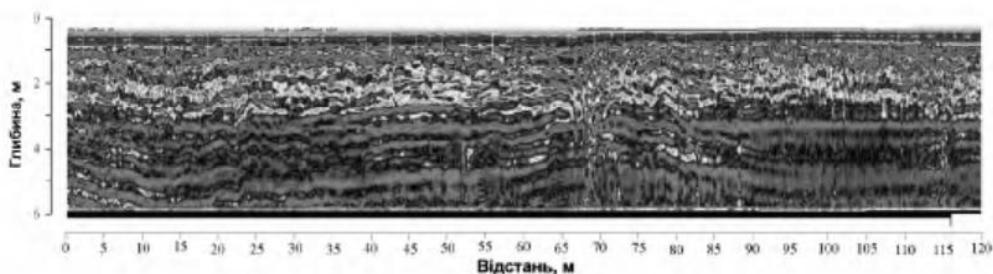


Рис. 8. Данные георадарной съемки в пределах аномальной морфоскульптуры полигона «Старые Шепеличи» по профилю 1-1a [1, 4]

Морфогенетическими методами анализа геологических разрезов в шурфах Старошепеличской площади выяснено [1, 4, 11] степень изменения пород впадинной формы, к которой приурочен собственно полигон и которая пространственно хорошо коррелируется с линеаментной зоной, по отношению к осадочным образованиям фоновых участков. Выявлено повышенную интенсивность ряда вторичных процессов, изменивших состав, структуру и свойства пород под влиянием оглеения, лессиважа, формирования новообразований из органо-минеральных соединений, окислительно-восстановительных преобразований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенными геодинамическими исследованиями зон аномального массопереноса и сопредельных с ними участков территории ЗВ на основании использования комплексных геоинформационных технологий (дистанционные аэрокосмические методы с привлечением данных геолого-геофизических работ) получены следующие результаты:

- оценены геодинамическое состояние и современная активность полигонов (районированы по интенсивности расчлененности рельефа и динамике эрозионных процессов, выделены микроблоки с разной степенью развития элементарных линеаментов, прослежены зоны разрядки напряженно-деформированного состояния горных пород, выявлены площадные участки повышенной трещиноватости и т.п.);

- прослежена четкая пространственно-корреляционная связь между выделенными ландшафтными (формирование пониженных форм рельефа – впадин, смена зонального типа растительности и почв на азональные) и эманационными аномалиями, неоднородностями геофизических полей, гидрогеологическими параметрами (повышение массообмена между поверхностными и глубокими слоями разреза);
- установлено, что указанные аномалии отражают структурную дифференцированность полигонов, главным образом связанную с нарушениями горизонтальной однородности слоев геологической среды, которая обусловлена наличием сложнопостроенных геодинамических субвертикальных зон напряженно-деформированного состояния горных пород;
- определено, что данные зоны характеризуются повышенными миграционными свойствами и, как следствие, являются своеобразными “каналами” интенсивного проникновения радионуклидов с поверхностных вод и почво-грунтов в подземные воды глубоких водоносных горизонтов и окружающие их осадочные образования;
- засвидетельствовано высокую геологическую информативность комплекса использованных методов исследований аномальных зон вертикального массопереноса, а также научную обоснованность примененной интегральной методики.

Результаты исследований аномальных зон и соответствующие геоинформационные технологии могут эффективно использоваться при решении ряда задач недропользования в других регионах Украины.

Список литературы

1. Шестопалов В.М., Бублясь В.М. Зони інтенсивної міграції радіонуклідів у геологічне середовище Чорнобильської зони відчуження // Бюл. екологічного стану Зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2000. – № 16. – С. 9–12.
2. Шестопалов В.М., Ханбілварді Р., Онищенко И.П. и др. Соотношение латерального и вертикального выноса радионуклидов из почв чернобыльской зоны // Доп. НАН України. – 2000. – № 5. – С. 195–199.
3. Шестопалов В.М., Бублясь В.М., Якимчук М.А., Левашов С.П. Про необхідність аналізу геодинамічних зон територій при виборі ділянок для захоронення радіоактивних відходів // Геохімія та екологія: Зб. наук. пр. ГГНС НАН та МНС України. – К., 2001. – Вип. 3/4. – С. 37–49.
4. Бублясь В.М., Шестопалов В.М. Аномальные зоны и их роль в перераспределении радионуклидов из поверхности почв в подземные воды / Водообмен в гидрогеологических структурах и чернобыльская катастрофа. Ч. 1. Распространение чернобыльских радионуклидов в гидрогеологических структурах. – Киев: ИГН НАНУ, НИЦ РПИ НАНУ, 2001. – С. 251–356.
5. Азімов О.Т. Структурні особливості полігонів з вивчення аномальних зон вертикального масопереносу у Зоні відчуження за даними дешифрування матеріалів аерофотозйомки і топографічних карт // Тез. докл. междунар. конф. «Экологические проблемы захоронения радиоактивных отходов» (Киев, 9-10 марта 2000 г.). – Киев: ГНЦ РОС НАН и МЧС Украины, 2000. – С. 41–42.
6. Азімов О.Т., Бублясь В.М., Ліщенко Л.П. та ін. Досвід застосування матеріалів аерозйомки і ГІС-технологій при комплексному дослідження аномальних зон вертикального масопереносу в Зоні відчуження ЧАЕС // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «ГІС Форум-2001» (Київ, 18-20 груд. 2001 р.). – К.: ГІС-Асоц. України, 2001. – С. 174–180.

7. Азімов О.Т., Левашов С.П., Бублясь В.М. Використання комплексу дистанційних і геофізичних даних як інформаційного ресурсу при дослідження сучасних тектонічних напруг у межах аномальних зон вертикального масопереносу (на прикладі Старошепелицької ділянки Зони відчуження ЧАЕС) // Геоінформатика. – 2002. – № 3. – С. 64–74.
8. Азімов О.Т. Деякі аспекти комплексного використання матеріалів аерозйомки і ГІС-технологій при вивченні аномальних зон вертикального масопереносу // Сб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2003. – № 16. – С. 140–148.
9. Азімов О.Т. Структурно-тектонічні особливості полігонів із вивчення вертикального масопереносу в Зоні відчуження (за даними аерофотозйомки і топографічних карт) // Геохімія та екологія: Зб. наук. пр. ІГНС НАН та МНС України. – К., 2004. – Вип. 9. – С. 55–58.
10. Азімов О.Т. Аерокосмогеологічні дослідження тектонічної будови території Чорнобильської Зони відчуження і прилеглого Коростенського масиву кристалічних порід: (проблема пошуку локальних ділянок, сприятливих для глибинної ізоляції радіоактивних відходів) // Геоінформатика. – 2004. – № 1. – С. 84–95.
11. Азімов О.Т., Бублясь В.М. Дослідження геодинамічних процесів у зонах аномального масопереносу // Вісн. Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2005. – Вип. 34-35. – С. 97–102.

Азімов О.Т. Використання геоінформаційних технологій при дослідженнях активних геодинамічних процесів // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2008. – Серія «Географія». – Т. 21 (60). – № 1. – С. 3-13

У статті висвітлюються результати вивчення структурно-геодинамічних особливостей зон аномального масопереносу комплексом дистанційних і геофізичних методів дослідження.

Ключові слова: дешифрування, елементарні лініamenti, структурні неоднорідності, зони аномального масопереносу

Azimov O.T. Application of geoinformation technologies for investigation of active geodynamic processes // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. – 2008. – Series «Geography». – V. 21 (60). – № 1. – P. 3-13

In this paper the results of structure and geodynamic feature investigation on mass transfer anomalous zones via complex of remote sensing and geophysical survey are highlighted.

Keywords: decoding, elementary lineaments, structural heterogeneities, mass transfer anomalous zones

Поступила в редакцию 23.04.2008 г.