

УДК 550.31

*О.К. Тяпкин*

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ФОРМАЛИЗАЦИИ  
РЕШЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

*Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепрпетровск*

Показано необхідність розвитку наукових основ нового відмінного від традиційного «геологорозвідувального» використання геофізичних методів для підвищення формалізації (математизації) рішення різноманітних геоекологічних задач в умовах техногенно навантажених територій України. Розроблено формалізовану оцінку геофізичного впливу на якість життєдіяльності населення і стан навколишнього середовища. Проведено обґрунтування формалізованої екогенної основи рішення геоекологічних задач. Показано особливості фізико-техногенно-геологічного моделювання об'єктів геолого-геофізичних досліджень. Приведено конкретні приклади використання геофізичної інформації для рішення регіональних геоекологічних задач.

Показана необходимость развитие научных основ нового отличающегося от традиционного «геологоразведочного» использования геофизических методов для повышения формализации (математизации) решения разнообразных геоэкологических задач в условиях техногенно нагруженных территорий Украины. Разработана формализованная оценка геофизического воздействия на качество жизнедеятельности населения и состояние окружающей среды. Проведено обоснование формализованной экотектонической основы решения геоэкологических задач. Показаны особенности физико-техногенно-геологического моделирования объектов геолого-геофизических исследований. Приведены конкретные примеры использования геофизической информации для решения региональных геоэкологических задач.

**Введение**

Решение современного комплекса задач рационального природопользования и геоэкологии является сложной научно-прикладной проблемой, решение которой требует развития в рамках традиционных направлений наук о Земле новых технологий оценки антропогенного воздействия на окружающую среду и состояния экосистем. В частности, в геофизике в конце XX века произошло обособление экологической геофизики (экогеофизики), перспективы развития которого определяются, в первую очередь, многообразием физических полей,

объективно отражающих статику и динамику природной среды (любые пространственно-временные изменения окружающей природной среды отражаются в вариациях геофизических полей), реагирующих или связанных с геоэкологической обстановкой.

Данная статья посвящена вопросам использования геофизической информации для повышения формализации (математизации) решения разнообразных геоэкологических задач в условиях техногенно нагруженных территорий Украины.

**Особенности обработки и интерпретации комплексной  
эколого-геолого-геофизической информации**

Теоретический базис экогеофизики опирается на теории и законы не только геофизики, но и других геологических наук, формирующих ее логическую структуру и представляет собой систему научных взглядов на законы формирования природно-техногенной геофизической среды. Под последней предлагается понимать динамичес-

кое единство суперпозиции физических полей и вызывающих их внешних (космических) причин-источников (как непосредственно, так и вследствие изменения земных природных, в т.ч. геологических, факторов), природных (наземных и геологических) и техногенных источников. В основу понятия источника геофизического поля положено представление о возмущающем (аномалиеобразующем) объекте – как объеме простран-

© Тяпкин О.К., 2008

ства, ответственном за формирование аномальных составляющих геофизических полей. Причиной возникновения этих аномалий является наличие в указанном объеме тела, отличающегося от вмещающей среды по своим физическим свойствам или внутренней структуре, либо проявления изменяющих их процессов. Наделение конкретных объемов верхних геосфер набором собственных физических параметров, характеризующих внутреннее состояние и структуру живого и неживого вещества в этих объемах, позволяет установить взаимно однозначное соответствие между биосферой и геофизической средой посредством решения

прямых задач конкретных геофизических методов: гравиразведки, магниторазведки и др. [28].

Геофизические аспекты изучения, оценки изменений, создания управляемых геофизических систем (элементами которых являются: аномалиеобразующие источники, пространственно-временные вариации физических полей и «некие геоэкологические изменения» окружающей среды) включают теоретические и практические вопросы организации соответствующих исследований. Предлагаемая принципиальная схема последовательности выполнения таких исследований отражена на рисунке.



Рисунок - Обобщенная структура геофизических исследований

Указанная схема построена по аналогии с эколого-геологическими исследованиями [17], что предопределяется неразрывной взаимосвязью геолого-геофизической информации как в геологоразведочном процессе,

так и при решении геоэкологических задач. Предложенный подход определяет содержание и методы геофизических исследований на базе обработки, передачи и хранения информации, ее интерпретации (в т.ч. модели-

рования) для целей информационного обеспечения моделирования геофизической среды. Первые три блока рассматриваемой схемы несут информационно-аналитический характер. На этом этапе происходит создание информационной геофизической базы вместе с данными о геологическом, геоморфологическом строении, геодинамических, гидрогеологических, геохимических и других геологических особенностях объектов. Сюда же включаются все доступные медико-биологические, эколого-экономические и социальные данные, а также информация о функционировании элементов техногенных систем – объектов градопромышленности, горнодобывающих, сельскохозяйственных, гидротехнических, военных, энергетических, транспортных объектов, свалок и хранилищ отходов и др. Оценка и анализ элементов этих систем завершается установлением основных причинно-следственных «геоэкологических» связей и определяются объекты для геофизического прогнозирования.

Прогнозный блок (блок 4) включает в себя комплексный прогноз изменений в природно-техногенной геофизической среде, необходимый для разработки оптимальных геофизических моделей и рекомендаций по минимизации отрицательных последствий техногенных нагрузок на систему. Комплексный прогноз изменений в геофизической среде осуществляется с привлечением всей имеющейся в созданной базе данных информации на базе физическо-техногенно-геологического моделирования. По своей сути это процесс создания априорной модели (по отношению к последующим полевым геофизическим работам) для последующего блока в структуре геолого-геофизических исследований при решении конкретных геоэкологических задач.

Комплексный прогноз изменений в природно-техногенной геофизической среде (по данным проведенных полевых геофизических работ) является основой для создания апостериорной модели этой среды (блок 5). В свете проблем перехода техногенно нагруженных регионов к устойчивому развитию процесс построения указанной модели включает в себя согласно [10,16] несколько последовательных шагов, завершающихся объединением результатов исследования природной среды, техносферы и социосфе-

ры с прогнозами изменений основных компонентов и параметров природно-техногенной геофизической среды (априорной моделью), т.е. построением самой апостериорной модели этой среды, которая пока на начальном этапе схематизации информации имеет основные черты, присущие структурным моделям, но в дальнейшем трансформируется в полностью формализованную физико-техногенно-геологическую модель.

Следующий блок в общей структуре геофизических исследований занимает разработка мероприятий и рекомендации по оптимизации природно-техногенной геофизической среды (блок 6). Этот блок включает комплекс мероприятий по защите экосистем от неблагоприятных воздействий техногенеза и созданию благоприятных условий для биоты и человека.

Контроль геофизической обстановки, корректировка прогнозов и управляющих решений (блок 7) осуществляются в рамках решения следующих задач: 1) обеспечение функционирования природной среды и жизнедеятельности общества, а также переход техногенно нагруженных территорий к устойчивому развитию; 2) профилактика и предотвращение кризисных геолого-геофизических ситуаций в системе «природная среда – общество»; 3) защита и восстановление природной среды до эталонного уровня.

Принятие управляющих решений в основном лежит в сфере администрации и поэтому геолого-геофизическая информация должна быть преобразована до уровня ее возможного восприятия (понимания) лицом, принимающим решение, в то же время данные не должны терять геолого-геофизическую информативность.

Ниже остановимся более подробно на вопросах формализации нескольких конкретных ключевых направлений (в рамках указанного выше блока 4) комплексного прогноза изменений в природно-техногенной геофизической среде, в т.ч. оценки геофизического воздействия на качество жизнедеятельности населения и состояние окружающей среды, создания картографической тектонической основы решения геоэкологических задач (эко-тектонической основы) и физико-техногенно-геологического моделирования объектов геолого-геофизических исследований.

**Формализация оценки геофизического воздействия на качество жизнедеятельности населения и состояние окружающей среды**

Для количественной оценки «экологической» значимости геофизического фактора в условиях техногенно нагруженных территорий введено понятие – *геофизического воздействия*, под которым будем понимать любые отклонения природного и техногенного геофизического поля от усредненного в историческом диапазоне времени уровня и вариаций соответствующего природного поля. Для оценки этого воздействия разработан перечень базовых показателей (параметров) их природной и техногенной составляющих (меры чувствительности живых организмов и окружающей среды): 1) акустическая чувствительность; 2) механическая чувствительность; 3) тепловая чувствительность; 4) радиочувствительность; 5) электромагнитная чувствительность [25].

Для оценки природной составляющей геофизического воздействия может быть использована информация о пространственных вариациях аномального магнитного поля  $T_a$ , многообразное влияние которого на живые организмы постоянно находится в поле зрения ученых [5, 37 и др.]. В качестве изучаемого параметра  $G_p$  выбран модуль разности максимального и минимального значений поля  $T_a$  в пределах некоторого «скользящего» окна, характеризующий горизонтальную изменчивость постоянной составляющей аномального магнитного поля территории исследований.

На региональном уровне под техногенной составляющей  $G_t$  предлагается понимать суммарное воздействие объектов промышленности, транспорта и энергетики, а также техногенное радиоактивное загрязнение с соответствующими весовыми коэффициентами [16, 36, 38]

$$G_t = \sum_{i=1}^6 K_i^L \times L_i + \sum_{j=1}^{10} K_j^S \times S_j + \sum_{n=1}^3 K_n^F, \quad (1)$$

где  $L_i$  – протяженность магистралей  $i$ -го вида транспорта (в км);  $S_j$  – доля площади скользящего окна, занимаемая  $j$ -ым объектом;  $K$  – весовые коэффициенты.

Величины конкретных коэффициентов  $K$  при вычислении суммарного техногенного физического воздействия определены на основании анализа и обобщения информации о количестве создаваемых полей, их интенсивностях и зонах влияния (локализации)

для каждого вида предприятий (добывающей, перерабатывающей промышленности и транспорта) [16,36,38]. Общими положениями, положенными в основу выбора значений этих коэффициентов, были следующие. Для транспорта весовые коэффициенты  $K$  увеличиваются в направлении: линии электропередачи → автодороги → железные дороги – по количеству создаваемых аномалий геофизических полей, а дополнительно для авто- и железных дорог – по их территориальному значению с соответствующим интенсивности движения транспорта геофизическим воздействием. Также с соответствующими коэффициентами (учитывающими локальную повышенную концентрацию транспортных линий) дополнительно суммируются следующие объекты: электростанции и подстанции, аэродромы, железнодорожные узлы, городской рельсовый электротранспорт). Наличие предприятий перерабатывающей промышленности приводит к увеличению весовых коэффициентов в направлении: химия → деревообработка и производство стройматериалов → машиностроение и металлообработка → металлургия за счет не столько увеличения количества создаваемых техногенных геофизических аномалий (практически каждое современное производство характеризуется полным набором видов соответствующего воздействия), сколько их интенсивностью. В добывающей же промышленности весовые коэффициенты увеличиваются при переходе от подземной добычи полезных ископаемых к открытой. При этом подземная разработка по геофизическому воздействию принята соизмеримой с усредненным влиянием предприятий перерабатывающей промышленности, а открытая разработка (по концентрации транспортных линий) – соизмеримой с железнодорожным узлом. А также в связи с особой актуальностью для Украины (после аварии на Чернобыльской АЭС) проблемы наличия техногенного радиоактивного загрязнения максимальный весовой коэффициент (соизмеримый с открытыми горными работами и железнодорожными узлами) также имеют проявления превышения природного  $\gamma$ -фона и площадного загрязнения территории радионуклидами.

В региональном плане при вычислении конкретных значений как техногенной составляющей геофизического воздействия  $G_t$ , так и природной –  $G_p$  результаты относились к центральным точкам фиксированных положений скользящего окна. К этим же точкам были отнесены и значения суммарного геофизического воздействия  $G$ , для вычисления которого природная и техногенная составляющая предварительно были нормированы относительно своих максимальных значений (причем известное близкое к лог-нормальному закону распределение значений магнитного поля на больших территориях вызвало необходимость предваритель-

ного логарифмирования природной магнитной составляющей)

$$G = k_p \frac{\lg G_p}{\lg G_{p, \max}} + k_t \frac{G_t}{G_{t, \max}}, \quad (2)$$

где  $k_p$  и  $k_t$  – весовые коэффициенты вклада соответственно природной и техногенной составляющих в суммарное геофизическое воздействие (вычисляются для каждого региона и периода времени в зависимости от конкретных сложившихся соотношений указанных составляющих);  $G_{p, \max}$  и  $G_{t, \max}$  – абсолютные максимумы соответственно природной и техногенной составляющих геофизического воздействия на изучаемой территории.

### Формализация построения картографической тектонической основы формализованной решения геоэкологических задач (экотектонической основы)

Одно из ключевых значений для понимания всех геоэкологических процессов, происходящих в недрах Земли и на ее поверхности, придается проблеме изучения разномасштабных (во времени и в пространстве) тектонических движений. В качестве теоретической основы их формализованного изучения могут быть использованы данные о системах докембрийских разломов прослеженных и зафиксированных по комплексу геолого-геофизических и аэрокосмических данных [20,21]. Исходя из общепринятых представлений о том, что зонам пересечения разломов соответствуют более «раздробленные» участки земной поверхности, предлагается выполнение простого суммирования индикаторов всех систем разломов, приходящихся на единицу площади [23,34 и др.]. С помощью такой карты можно охарактеризовать фоновое состояние геологической среды по отношению к наиболее интенсивным и опасным геоэкологическим процессам. На конкретных участках исследуемой территории по мере увеличения уровня полученной интегральной оценки возрастает вероятность резких нарушений геологической среды, приводящих к аварийным ситуациям. Эта «чисто пространственная» интерпретация тектонической информации может быть уточнена учетом активизаций отдельных фрагментов разломов в различные промежутки времени. Критерием выявления активных («долгоживущих») разломов является степень проявленности различных групп их признаков (геологических, геофи-

зических, геоморфологических и других), в которых «зашифрована» история формирования разлома [23].

Однако при укрупнении масштаба и переходе к детальным исследованиям особо важное значение приобретает изучение и прогноз направлений (путей) распространения всех видов техногенного воздействия в окружающей среде. В контексте экотектонических исследований эта проблема может быть решена путем формализованной оценки значимости преимущественного направления совокупности всех разломов, заметно проявляющихся в пределах конкретной элементарной площадки. Вычисляемый параметр позволяет охарактеризовать тектоническую анизотропию геологической среды (точнее анизотропию «раздробленности» земной коры) и с его помощью можно определить преимущественные направления распространения конкретных техногенных воздействий. Для количественной оценки этой анизотропии введен показатель  $A$ , который, в отличие от традиционных технологий определения пространственных характеристик линиментов, полученных в результате обработки аэрокосмической информации (плотности, розы-диаграммы ориентировки, фильтрации и др.), «жестко привязан» к известным в пределах Украинского щита (УЩ) азимутам простираения систем докембрийских разломов. Это позволяет упростить и ускорить процесс определения указанного преобладающего направления, путем исключения из общей процедуры вычи-

слення блока виявлення і аналізу орієнтовки лінійних елементів (лініментів, фрагментів разломів). При вичисленнях

іспользується інформація о фрагментах разломів різних систем, пересікаючих конкретні елементарні площадки [14]

$$A = \frac{\max\{L_1, L_2\}}{\min\{L_1, L_2\} \cdot \cos \left| 90 - \frac{\sum_{i=1}^{m_1} \alpha_{1i}}{m_1} - \frac{360 - \sum_{j=1}^{m_2} \alpha_{2j}}{m_2} \right|} \cdot \frac{L_1 + L_2}{N}$$

где

$$L_1 = \sum_{i=1}^{m_1} K_{1i} \cos \left| \alpha_{1j} - \frac{\sum_{j=1}^{m_1} \alpha_{1j}}{m_1} \right|; \quad L_2 = \sum_{i=1}^{m_2} K_{2i} \cos \left| (360 - \alpha_{2i}) - \frac{360 - \sum_{j=1}^{m_2} \alpha_{2o}}{m_2} \right|, \quad (3)$$

а также  $N = \max\{L_1\} + \max\{L_2\} = 10,81$  при  $m_1=m_2=6$  (максимальное для условий УЩ количество систем разломов).

В (3) величины  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – азимуты простирания зафиксированных в пределах элементарной площадки взаимно ортогональных разломов одной системы, а соответствующие им величины  $K_1$  и  $K_2$  – «вес» разломов. Последние при наличии достаточного количества информации вычисляются как среднее арифметическое весовых коэффициентов разных групп признаков разломов. При  $K_1=K_2=1$  (т.е. все фиксируемые разломы считаются равновесными) величины  $L_1$  и  $L_2$  являются суммой проекций единичных отрезков всех фиксируемых в пределах конкретной элементарной площадки разломов на два усредненных (соответственно для диапазонов 0-90° и 270-360°) направления.

По мере увеличения абсолютной величины параметра  $A$  возрастает анизотропия «раздробленности» земной коры и повышается потенциальная значимость преимущественных направлений распространения различных техногенных воздействий. Геометрически этой ситуации отвечает увеличение количества близких по направлению разломов в пределах элементарной площадки. При уменьшении же этого количества или увеличении числа разнонаправленных разломов (т.е. повышении «изотропной раздробленности») соответственно уменьшается величина параметра  $A$ . Минимуму этого параметра  $A=1=\min$  соответствует ситуация, когда элементарная площадка разбита всеми 12-ю попарно взаимно ортогональными разломами 6-ти систем, зафиксированных в пределах УЩ.

Современная тенденция практически повсеместного перехода от «качественной» (неформализованной) интерпретации геофизической информации к количественной определил необходимость проведения специальных исследований возможностей точного восстановления и прослеживания индикаторов разломов в геофизических полях, заданных дискретно по площади [22]. В общем случае в результате применения формализованной процедуры прослеживания элементов поля, заданного по дискретной сети, индикаторы разломов, представленные прямолинейными аномалиями, могут трансформироваться в ломаные линии и возникают участки потери корреляции, связанные не с геологическим строением исследуемых участков, а с методическими особенностями получения и обработки геофизической информации. Такие участки могут быть ошибочно отождествлены с проявлениями в физических полях закона унаследованного формирования разломных и связанных с ними поверхностных структур, суть которого заключается в закономерной взаимосвязи элементов унаследованности и новообразований при формировании новых систем разломов на фоне возникших ранее [20,21].

Для повышения эффективности интерпретации детальной геофизической информации проведены специальные модельные расчеты совпадения азимутов диагональных направлений сетей наблюдений различной вытянутости и ориентировки, применительно к фиксированным азимутам указанных систем разломов (таблица 1). Проведенные исследования позволили выявить высокую степень совпадения ~75% (с точностью 0-5°)

диагоналей развернутых сетей наблюдений с направлениями простираения известных систем разломов. Причем наибольшее совпадение этих величин наблюдается в случае изометричных (квадратных) сетей наблюдений

с  $k=a/b=1$  (где  $a$  – расстояние между точками измерений,  $b$  – расстояние между профилями). Следствием этих совпадений является искусственное «усиление» осевых и диагональных направлений сети наблюдений [22].

Таблица 1 – Совпадение диагональных направлений сетей наблюдений различной вытянутости и ориентировки с направлениями простираения разломов известных на УЩ систем

№ п/п	Азимуты осей сети наблюдений, в градусах	Азимуты диагоналей сетей наблюдений с различными параметрами $k$ , в градусах						
		$k = 1/5$	$k = 1/4$	$k = 1/2$	$k = 1$	$k = 2$	$k = 4$	$k = 5$
1.	0	-	17 (3)	-	45 (0)	62 (2)	77 (2)	77 (2)
2.	270	-	287 (3)	-	315 (0)	332 (2)	347 (2)	347 (2)
3.	17	-	35 (4)	45 (2)	62 (0)	77 (4)	270 (3)	-
4.	287	-	305 (4)	315 (2)	332 (0)	347 (4)	0 (3)	-
5.	35	45 (2)	45 (5)	62 (1)	77 (3)	-	287 (4)	-
6.	305	315 (2)	315 (5)	332 (1)	347 (3)	-	17 (4)	-
7.	45	-	62 (3)	-	270 (0)	287 (2)	305 (5)	305 (2)
8.	315	-	332 (3)	-	0 (0)	17 (2)	35 (5)	35 (2)
9.	62	77 (4)	77 (1)	270 (2)	287 (0)	305 (1)	315 (3)	-
10.	332	347 (4)	347 (1)	0 (2)	17 (0)	35 (1)	45 (3)	-
11.	77	270 (2)	270 (2)	287 (4)	305 (3)	-	332 (1)	332 (4)
12.	347	0 (2)	0 (2)	17 (4)	35 (3)	-	62 (1)	62 (4)

*Примечание.* В скобках указана величина абсолютной погрешности вычисления азимута (в градусах).

### Физико-техногенно-геологическое моделирование объектов геолого-геофизических исследований

В геологоразведочном процессе было разработано понятие физико-геологической модели (ФГМ) – как системы абстрактных возмущающих тел и вызываемых ими аномальных эффектов, которые аппроксимируют геологический объект и с необходимой для моделирования детальностью обобщенно отражают его структуру, размеры, форму, петрофизические свойства и соответствующее им объемное распределение физических полей [3,8 и др.]. Требованием современного этапа развития геоэкологического направления в геофизике является создание единых физико-техногенно-геологических моделей (ФТГМ), всесторонне обобщающих информацию о природных и техногенных процессах и явлениях [29].

Для решения современных геоэкологических проблем техногенно нагруженных территорий уже на стадии мелкомасштабных исследований (масштаб 1:500000 и мельче) необходимо учитывать техногенные факторы (например, расположение потенциально

техногенно опасных объектов в сейсмоактивных районах [7]). Очевидно, что количество информации о конкретном влиянии этих факторов возрастает по мере увеличения масштаба исследований и соответствующих геолого-геофизических моделей. При этом в центре внимания должны находиться вопросы аппроксимации геологического разреза от поверхности раздела «земля-воздух» до максимальных глубин современного изучения.

Основой решения этой проблемы может быть система плотностных моделей в масштабах от 1:500000 до 1:50000, то есть – на нескольких иерархических уровнях: региональном, среднемасштабном и крупномасштабном [6]. Полнота изучения с помощью геофизической информации глубинного строения земной коры для решения конкретных геоэкологических задач обеспечивается поэтапным усложнением моделей.

Вначале будем считать, что достоверно известно только две структурные поверхно-

сти:  $z' = h_{\phi}(x', y')$  и  $z' = h_m(x', y')$  – соответственно, кристаллического фундамента и  $M$ , и построение модели сводится к подбору плотности осадочного слоя  $\sigma_{oc}$ , земной коры  $\sigma_k$  и мантии  $\sigma_m$  при двух указанных фиксированных структурных границах. Величины  $\sigma_{oc}$ ,  $\sigma_k$  и  $\sigma_m$  определяются из условия минимума следующего функционала

$$\| \Delta g_{(x,y)} - \Delta g_{выч}(\sigma_{oc}, \sigma_k, \sigma_m, h_{\phi}, h_m, x, y) \| = \min, \quad (4)$$

$$\| \Delta g_{n\text{ изм}}(x, y, z) - \Delta g_{n\text{ выч}}(\sigma_j(x', y', z'), h_j(x', y'), x, y, z) \| = \min; \quad (6)$$

$$\sigma_{jн} \leq \sigma_j(x', y', z') \leq \sigma_{jв} \quad \text{и} \quad h_{jн} \leq h_j(x', y') \leq h_{jв}. \quad (7)$$

После того, как найдено положение контактной поверхности  $z' = h_j(x', y')$ , задано распределение скорости  $v_j(x', y', z')$  и определена зависимость  $\sigma_j(x', y', z') = \sigma_j(v_j(x', y', z'))$ , методом подбора определяется распределение аномальной плотности  $\sigma_j(x', y', z')$  в средней и нижней частях земной коры.

Далее при построении среднемасштабных плотностных моделей изучаются неоднородности верхнего этажа земной коры – практически до условной границы  $K_2$ , т.е. выполняется объемное картирование крупных блоков, структур верхней части земной коры с целью детализации модели геологического строения вдоль региональных глубинных сейсмических и электроразведочных профилей; затем выполняется сплошное объемное среднемасштабное петроплотностное моделирование [6].

Полученный от сплошной среднемасштабной объемной петроплотностной модели гравитационный эффект служит фоном для выделения аномалий более высоких порядков, что позволяет все последующие крупномасштабные построения увязать по единому уровню поля и плотностной модели. Крупномасштабная модель является завершающим этапом укрупнения в иерархической системе взаимоувязанных разноуровневых петроплотностных моделей, применимых при решении соответствующих по масштабу как геологоразведочных, так и геоэкологических задач: с одной стороны, это изучение строения рудоперспективных массивов и структур в плане и на глубину, а с другой стороны, создание информационной базы для планирования параметров будущих горнодобывающих предприятий и оценки их воздействия на окружающую среду.

при ограничениях нижнего и верхнего пределов изменения плотности

$$\sigma_{oc.н} < \sigma_{oc} < \sigma_{oc.в}; \quad \sigma_{k.н} < \sigma_k < \sigma_{k.в}; \quad \sigma_{m.н} < \sigma_m < \sigma_{m.в}. \quad (5)$$

Полученные в результате решения параметры, служат «каркасной» основой модели. Они являются исходными при оценке методом подбора основных параметров функционала на втором этапе

Разработанные физико-геологические модели являются отправной точкой для выбора и обоснования рационального комплекса и технических условий производства дальнейших геолого-геофизических и горных работ, а также определения стратегии обработки и интерпретации получаемой информации применительно к последующим детальным исследованиям. Эффективность последних может быть проиллюстрирована на примере моделирования геоэкологических последствий горнодобывающей деятельности по гравитационным данным. С помощью этой информации на эксплуатируемых месторождениях можно изучать и оценивать значимость происходящих изменений окружающей среды, сравнивать ее нарушенное состояние с фоновыми характеристиками и нормативными показателями, исследовать наиболее интенсивные и опасные техногенные процессы. Ниже рассмотрены вопросы геофизического моделирования двух из них [15,24,30,31]: динамики развития подземных пустот и понижения уровня подземных вод.

Основой изучения этих процессов является базовая гравитационная модель карьера. Общий характер изменения гравитационного поля соответствует упрощенному модельному разрезу, включающему помимо разрабатываемых рудных объектов в однородной вмещающей среде также однородные перекрывающие отложения. Вычисленные изменения поля отнесены к непостоянной во времени дневной поверхности, имитирующей последовательность открытой разработки месторождений полезных ископаемых: начало разработки (фоновое состояние), снятие перекрывающих отложений, частичная выемка рудного тела. По мере извлечения горной породы, происходит



общее понижение значений гравитационного поля. Это вызвано как извлечением и удалением значительных масс пород, так и понижением абсолютных отметок точек вычислений по мере углубления карьера. В результате первоначально простые по форме положительные аномалии трансформируются в сложные аномальные зоны гравитационного поля. Особый интерес здесь представляет появление небольшого «ложного» максимума вычисленного поля в центре карьера, который вызван не наличием каких-нибудь масс под ним, а уменьшением значений поля по мере приближения к вышележащим массам бортов карьера. На этом фоне изменение положения («всплывание») пустоты приводит к изменению регистрируемых значений гравитационного поля – динамическим аномалиям. В общем случае зоны разуплотнения, обусловленные развитием (обрушением) заброшенных горных выработок и отработанных залежей, в пространстве имеют форму близкую к изометричной. Для изотропной среды в качестве модели первого приближения принята система вложенных друг в друга сферических слоев, каждый из которых характеризует определенное состояние горного массива: пустота ( $\sigma_1$ ) – переходная зона ( $\sigma_2$ , изменяющейся в пределах от  $\sigma_1$  до  $\sigma_3$ ) – монолит ( $\sigma_3$ ).

Развитие этой модели («всплывание» пустоты) приводит к тому, что объем разуплотненного участка не постоянен, а «след» движения пустоты к поверхности карьера весьма близок по форме к эллипсоиду обрушения. В реальных условиях перемещение зоны разуплотнения вверх не происходит с полным восстановлением плотности обрушившихся пород до плотности монолита. Окончательная плотностная модель, построенная по гравитационным данным, представляет собой «деформированный» эллипсоид обрушения, отображающий «перемещение» (опасной для ведения горных работ) разуплотненной зоны к поверхности с одновременным уплотнением обрушающейся при этом породы [15,31].

При моделировании гравитационного эффекта от изменений гидрогеологических условий карьера выбран простой разрез с горизонтальным залеганием пластов горных пород (фоновое состояние). Гравитационное

поле во всех точках над таким разрезом постоянно и равно

$$\Delta g = \sum_{i=1}^m 2\pi k \sigma_i h_i = 2\pi k \sum_{i=1}^m \sigma_i h_i, \quad (8)$$

где  $\sigma_i$  – плотность  $i$ -го пласта;  $h_i$  – вертикальная мощность  $i$ -го пласта;  $m$  – количество пластов;  $k$  – гравитационная постоянная. Такая модель хорошо аппроксимирует горизонтально залегающую единую пластообразную толщу перекрывающих пород с однородной минеральной плотностью  $\sigma_m$ , распадающуюся на две различающиеся по плотности толщи газо- и влагонасыщенных пород (соответственно  $\sigma$  и  $\sigma'$ ). Границей этих толщ является динамический уровень подземных вод. Зафиксировав величину  $\sigma_m=2,7$  г/см<sup>3</sup> (что соответствует некоторой усредненной плотности песчано-обломочных и хемогенных образований) расчеты  $\sigma$  и  $\sigma'$  можно выполнить по известным формулам [33]

$$\begin{cases} \sigma_{1,2} = \sigma_m \cdot (1 - n \cdot 10^{-2}) \\ \sigma_{1,2}' = \sigma_m + (1 - \sigma_m) \cdot n \cdot 10^{-2} \end{cases}, \quad (9)$$

где  $n$  – пористость породы, в %.

По мере отработки карьера формируются отвалы пород (техногенные новообразования) со своими водоносными горизонтами (линзами). Минеральная плотность техногенных новообразований оставлена неизменной по отношению к коренным породам, пористость же может изменяться в широких пределах  $\pm 10\%$  от значений  $n$  ненарушенных пород. От величины  $n$  зависит крутизна депрессионной воронки: чем больше  $n$  техногенных новообразований, тем выше линия динамического уровня подземных вод, и соответственно выше графики гравитационного поля.

Для оценки необходимой точности гравиметрических наблюдений при решении гидрогеологических задач в районе действующего карьера были проведены вычисления с использованием выражения (8) для одного пласта. В качестве  $\sigma$  была использована разность плотностей газо- и влагонасыщенных пород из (9)

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_i' - \sigma_i = \\ &= \sigma_m + (1 - \sigma_m) \cdot n \cdot 10^{-2} - \sigma_m \cdot (1 - n \cdot 10^{-2}) = n \cdot 10^{-2}. \end{aligned} \quad (10)$$

Расчеты прямого гравитационного эффекта плоскопараллельного слоя малой мощности  $h$  моделируют изменения мощности водоносного горизонта за счет колеба-

ния его верхней границы (уровня подземных вод). Результаты вычислений можно использовать для оценки необходимой точности гравиметрических наблюдений при исследованиях колебаний статического уровня подземных вод. Подобная оценка для динамического уровня подземных вод опирается на гравитационный эффект от вертикальной ступени – горизонтального полупласта (уменьшенный вдвое гравитационный эффект от плоскопараллельного пласта).

На современном этапе перспективы развития экогеофизики могут быть связаны с использованием фундаментальных законов физики Земли. Для этого обоснована экологически значимая взаимосвязь развития локального подтопления и изменения метеоситуации с перемещением блоков земной коры, первопричиной которых является изменение ротационного режима планеты [35].

В 1984 г. К.Ф. Тяпкиным была предложена новая модель равновесного состояния вращающейся Земли (геоизостазии) [19]. Ее отличительной особенностью (по сравнению с доминирующими на то время концепциями изостазии, основанными на гипотезе о «плавании» земной коры на магме и не учитывающими вращение нашей планеты) является представление о том, что Землю можно считать находящейся в состоянии равновесия, если каждый ее сектор, вырезанный достаточно малым центральным телесным углом  $\Delta\Omega$  будет иметь равный вес.

Количественно это условие соответствует интегральному выражению

$$\Delta\Omega \int_0^{\infty} \sigma(r) g(r) r^2 dr = const, \quad (11)$$

где  $\sigma(r)$  – плотность вещества Земли в пределах изучаемого сектора;  $Ag(r)$  – ускорение свободного падения (силы тяжести) в точка сектора на расстоянии  $r$  от центра Земли.

Выражение (11) можно представить в виде трех интегралов

$$I_1 + I_2 + I_3 = const, \quad (12)$$

где

$$I_1 = \Delta\Omega \int_0^{R_i} \sigma(r) g(r) r^2 dr ;$$

$$I_2 = \Delta\Omega \int_{R_i}^{R_e} \sigma(r) g(r) r^2 dr ;$$

$$I_3 = \Delta\Omega \int_{R_e}^{\infty} \sigma(r) g(r) r^2 dr ,$$

$R_i$  – внутренний радиус мантии Земли,  $R_e$  – ее внешний радиус.

В качестве критерия уравновешенности Земли принимается величина отклонения радиусов геоида ( $R_r$ ) от соответствующего ему сфероида ( $R_c$ ). Следовательно, вторым условием геоизостазии является требование

$$\zeta = R_r - R_c = 0. \quad (13)$$

Первые два интегральные выражения в равенстве (12) К.Ф. Тяпкиным положены в основу развиваемой им ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере [19]. При этом показано, что разность отметок между геоидом и сфероидом  $\zeta$  определяет направленность геологических процессов на Земле.

Для наших целей в уравнении (12) существенное значение имеют: интеграл  $I_3$  численно равный величине атмосферного давления у поверхности Земли в изучаемом секторе, и часть интегрального выражения  $I_2$ , соответствующая приповерхностному земному слою мощностью  $H$ , характеризующемуся наличием флюидов (в вертикальных «порах-капиллярах» горных пород) –  $I_2'$ .

$$I_2' = \Delta\Omega \int_{R_e-H}^{R_e} \sigma(r) g(r) r^2 dr . \quad (14)$$

В соответствии с указанной ротационной гипотезой [20, 21] поверхность твердой Земли представляет собой мелко блоковую мозаику, образованную взаимным пересечением нескольких систем иерархически соподчиненных разломов. Любые нарушения ротационного режима Земли приводят к активизации систем разломов и относительно перемещению по ним блоков земной коры. Рассмотрим роль выражений  $I_3$  и  $I_2'$  в определении проявлений современных природных процессов на простейшем примере. Пусть уединенный блок земной коры опустился на несколько миллиметров ( $h$ ). Вследствие этого нарушится величина  $\zeta$ . Ее можно восстановить только за счет изменения (в данном случае увеличения) значений интегралов  $I_3$  и  $I_2'$ . Увеличение значений  $I_3$  возможно за счет перетока воздушных масс (схема циклона). Возрастание величины  $I_2'$  также возможно в результате подъема урв-

ня грунтових вод. Эти процессы должны продолжаться до восстановления исходных значений  $\zeta$ . Вполне очевидно, что в случае относительного подъема изучаемого блока будут иметь место противоположные явления. Таким образом, намечается возможность использования новой модели геоизостазии [19] для решения геоэкологических задач, связанных как с региональным прогнозом метеоусловий, так и с проблемами подтопления территорий.

Для дальнейшего изучения вопроса взаимосвязи особенностей тектонического строения и локальных изменений метеоситуации уникальные возможности открывает информация о последствиях аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) 26.04.1986 г. Неравномерность выпадения радионуклидов и радиоактивные следы Чернобыльской катастрофы обусловлены рядом обстоятельств, в т.ч.: изменением направления и силы ветра, дождями, неравномерностью выбросов из 4-

го блока ЧАЭС в результате противопожарных мероприятий. За девять суток аварии направление ветра изменилось на  $360^\circ$ , т.е. вектор скорости ветра описал полный оборот [1]. Однако анализ пространственного распространения загрязнения территории (из [13]) позволил отметить дискретность изменения направлений простирающихся радиоактивных следов, которая напоминает некую анизотропию геологической среды, вызванную формированием систем разломов земной коры.

В дальнейшем зафиксировано совпадение максимумов «значимости» направлений простирающихся радиоактивных следов от аварии на ЧАЭС и систем разломов земной коры. Эта зависимость проявляется в районе исследований в особенностях погребенного и современного дневного рельефа и практически незаметна в более «древних» геолого-геофизических признаках этих разломов [30].

### Примеры использования геофизической информации в решении региональных геоэкологических задач

*1. Использование интегральной геолого-геофизической информации в оценке возможностей развития рекреационной инфраструктуры.*

Необходимость обязательного учета геофизических аспектов интегрального показателя качества жизнедеятельности населения и окружающей среды при решении проблем разработки стратегии устойчивого развития техногенно нагруженных регионов иллюстрируется на примере оценки современного состояния и возможностей развития рекреационной инфраструктуры Украины. Напрямую с изменением техногенной нагрузки (в т.ч. геофизического воздействия) на конкретных территориях связаны перспективы развития рекреационных ресурсов: чем выше указанная нагрузка, тем больше должно быть доступных рекреационных ресурсов; а также то, что пространственный критерий развития рекреационной инфраструктуры должен опираться на минимизацию геофизического воздействия [11].

В настоящее время рекреационная инфраструктура техногенно нагруженных регионов Украины развивается стихийно и, в основном, по традиционной схеме наличия лесных ресурсов и поверхностных вод. В

связи с этим для всестороннего (а не только лечебно-профилактического) развития рекреационной инфраструктуру техногенно нагруженных регионов необходима разработка формализованной процедуры пространственной оценки соответствующих ресурсов, позволяющая планировать развитие рекреационных ресурсов с учетом интегрального геофизического воздействия. Рассмотрим это на примере использования основных памятников природы Украины, обобщенных в [32]. Т.к. известные природные рекреационные объекты не являются уникальными, а характеризуют ландшафтные области, на территории которых они располагаются, то основой для распространения по площади этих объектов выбрана схема геоморфологического районирования масштаба 1:10000000 [4].

Пусть имеется множество  $n_o$  локальных рекреационных объектов на территории  $m$  областей. При этом в каждую  $i$ -ую область попадает  $n_i$  объектов и общее количество локальных объектов  $N$  имеет вид

$$N = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} n_{oj} \quad (15)$$

Под обеспеченностью  $i$ -ой области рекреационными ресурсами  $P_i$  будем понимать

густоту соответствующих объектов на единицу площади

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} n_{oj}}{S_i}, \quad (16)$$

где  $S_i$  – площадь  $i$ -ой области.

Представительность (значимость)  $i$ -ой области в целом определяется соотношением ее площади  $S_i$  с общей площадью государства  $S_{общ}$

$$K_i = 1 - \frac{S_i}{\sum_{j=1}^m S_j} = 1 - \frac{S_i}{S_{общ}} \quad (17)$$

Предлагаемая технология районирования обеспеченности территории государства рекреационными ресурсами опирается на совокупность данных о локальных объектах и площадях их распространения (геоморфологических областях). При этом оцениваемым параметром является следующее произведение

$$R_i = K_i \cdot P_i. \quad (18)$$

Однако до сопоставления этой информации с данными о техногенной нагрузке на территорию (в т.ч. геофизическом воздействии) необходимо учесть: 1) степень доступности конкретных объектов рекреации из фиксированных точек (участков, районов) – расстояние до этих объектов от оцениваемой точки территории  $l_o$ ; 2) «ценность» – с позиции потенциальной посещаемости из конкретной точки территории в первом приближении определяется плотностью ее заселения  $q$ ; 3) «ценность» этих объектов с точки зрения схожести их природных условий с условиями различных мест проживания людей – матрица  $M$  «несхожести» этих условий для выделенных геоморфологических областей (т.е. ценность возрастает по мере увеличения степени отличия условий объектов рекреации от привычных природных условий, в которых протекает повседневная деятельность людей).

Теперь для каждой фиксированной точки исследуемой территории, принадлежащей конкретной  $j$ -ой области, с учетом приуроченности каждого локального объекта рекреации своей  $i$ -ой области можно определить обеспеченность доступными рекреационными ресурсами  $r_i$  из следующего выражения

$$r_i = \sum_{k=1}^N \frac{M_{ij} \cdot V_i \cdot Q_j}{l_{ok}}. \quad (19)$$

при  $Q_i = \frac{q_i}{q_{min}}$ , где  $q_{min}$  – минимальная плотность населения государства.

Пространственное совмещение результатов расчета современной обеспеченности доступными рекреационными ресурсами с уровнем современного техногенного геофизического воздействия позволяет определить приоритетные территории развития рекреационного потенциала Украины. На выявленных территориях с высоким техногенным геофизическим воздействием и низкой обеспеченностью доступными рекреационными ресурсами предлагается следующий «сценарий» развития рекреационного потенциала. С одной стороны, это «тактическое» развитие местной рекреационной инфраструктуры для кратковременного отдыха (походов выходного дня, «пикников», рыбной ловли, охоты и др.). В этом случае рекреационные объекты имеют меньшую «ценность» с позиции схожести природных условий  $M_{ij}$ , но в тоже время благоприятным является их большая доступность за счет сокращения расстояний  $l_{ok} \rightarrow \min$ . С другой стороны, это «стратегическое» увеличение (интенсификация) длительного использования рекреационных ресурсов (в т.ч. для лечебно-профилактических целей) за пределами указанных территорий с высоким техногенным геофизическим воздействием и низкой обеспеченностью доступными рекреационными ресурсами. В этом случае имеется большее количество «степеней свободы» при выборе как конкретных объектов (на территориях с низким техногенным геофизическим воздействием), так и видов реализации их рекреационного потенциала.

Дальнейшие перспективы исследований в этом направлении связаны с разнообразными историческими (архитектурными) объектами различного возраста – как условием, способствующим успешному развитию рекреационной инфраструктуры регионов Украины [9]. Основные результаты наших исследований сведены в таблице 2. Проанализированы площади территорий Украины рекреационного использования (за единичную принята территория области). Соотношение площадей территорий, потенциально пригодных для рекреационного использования  $P$  необходимых для удовлетворения рекреационных потребностей  $N$ , определяет не саму

необходимость развития рекреационной инфраструктуры (эту инфраструктуру необходимо развивать везде), а, скорее, основной «сценарий» дальнейшего развития и использования этой инфраструктуры:

- $P < N$  – наращивание территорий для рекреационного использования до величины необходимой для удовлетворения местных потребностей;

- $P > N$  – наращивание территорий для общегосударственного рекреационного использования (и постепенный переход региона в «доноры» рекреационных услуг);

- $P \gg N$  (регион–«донор» рекреационных услуг) – наращивание территорий пригодных для общегосударственного и международного рекреационного использования.

Таблица 2 – Оценка перспективы «историко-культурного» и «бальнеологического» наращивания площадей для рекреационного использования

№ п/п	Автономная республика и области	Количество памятников архитектуры	Количество историко-культурных заповедников	«Историко-культурное» наращивание рекреационного потенциала		«Бальнеологическое» наращивание рекреационного потенциала (ранги)	Соотношение величин $P$ и $N^{*)}$	Приоритетное развитие рекреационной инфраструктуры $^{**)}$
				нормированная взвешенная сумма	ранги			
1.	Крым	1	4	35,7	3	3	–	ИК+ЛВ
2.	Винницкая	3	0	7,6	1	1	++	–
3.	Волинская	5	1	42,3	3	1	++	ИК
4.	Донецкая	0	1	8,6	1	3	–	ЛВ
5.	Днепропетровская	1	0	2,3	1	2	–	ЛВ
6.	Житомирская	4	0	20,3	2	1	++	ИК
7.	Закарпатская	8	0	42,6	3	3	++	ИК+ЛВ
8.	Запорожская	0	1	8,6	1	2	–	ЛВ
9.	Ивано-Франковская	3	1	27,3	2	2	++	ИК+ЛВ
10.	Киевская	3	2	34,5	3	2	–	ИК+ЛВ
11.	Кировоградская	1	0	1,15	1	1	+	–
12.	Луганская	0	0	0	1	1	+	–
13.	Львовская	12	3	68,8	4	3	++	ИК+ЛВ
14.	Николаевская	1	1	9,8	1	1	–	–
15.	Одесская	2	0	4,15	1	2	+	ЛВ
16.	Полтавская	1	1	10,9	1	2	++	ЛВ
17.	Ровенская	8	1	31,2	3	1	++	ИК
18.	Сумская	5	1	20,8	2	1	++	ИК
19.	Тернопольская	9	1	43,2	3	1	++	ИК
20.	Харьковская	3	0	5,8	1	1	+	–
21.	Херсонская	1	0	1,15	1	1	–	–
22.	Хмельницкая	6	1	26,6	2	1	++	ИК
23.	Черкасская	2	1	13,2	1	2	+	ЛВ
24.	Черниговская	9	2	69,1	4	1	++	ИК
25.	Черновицкая	2	0	4,15	1	2	+	ЛВ

Примечание.  $^{*)}$  «–» –  $P < N$ , «+» –  $P > N$ , «++» –  $P \gg N$ ;  $^{**)}$  приоритетное направление: ИК – историко-культурное, ЛВ – лечебные воды.

Для оценки перспектив расширения рекреационной инфраструктуры за счет историко-культурных объектов была использована картографическая информация о памятниках архитектуры различного возраста (от X до XIX века). Ранжированная взвешенная по возрасту (чем древнее – тем «интересней» и выше рекреационная ценность) сумма памятников архитектуры позволяет определить потенциальную перспективу наращивания площадей территорий для рекреационного использования за счет использования историко-культурных объектов (ИК). Также выполнена общая оценка перспектив бальнеологического расширения рекреационной инфраструктуры с использованием картографической информации о лечебных минеральных водах (без разделения на группы по химическому составу). Ранжированная сумма известных источников этих вод позволяет определить соответствующую потенциальную перспективу наращивания площадей территорий для рекреационного использования (ЛВ).

Аналогичный подход к оценке перспектив наращивания площадей территорий Украины для рекреационного использования может быть применен и к другим природным и техногенным объектам, в т.ч. геологическим (как естественные обнажения, так и карьеры и шахты). Во всех этих случаях геолого-геофизическая информация об из-

менениях техногенной нагрузки (в т.ч. геофизического воздействия) позволяет оценить возможности и ограничения развития рекреационной инфраструктуры.

2. *Научное сопровождение реализации мероприятий Государственной программы устойчивого развития региона добычи и первичной переработки уранового сырья.*

Для конкретных геосистем в условиях потенциального интенсивного радиоактивного загрязнения (в т.ч. при добыче и первичной переработке уранового сырья) необходимо выделение интегральной оценки радиологической нагрузки из общей геофизической [27,39]. В основу разработанной технологии прогноза развития радиологической обстановки промышленно развитых регионов Украины Р положено представление об изменении современного состояния М распределения радионуклидов во всех геосферах, обусловленного сочетанием природных и антропогенных факторов, под действием совокупности техногенных (преимущественно аварийных) процессов F. Причем как М, так и F являются функциями, аргументом которых является приращение времени Δt.

$$M(\Delta t) = \sum_{i=1}^n K1_i(\Delta t) \cdot k_i \cdot C_i$$

и 
$$F(\Delta t) = \sum_{j=1}^m K2_j(\Delta t) \cdot k_j' \cdot T_j \cdot A_j; \quad (20)$$

$$P(\Delta t) = M(\Delta t) + F(\Delta t) = \sum_{i=1}^n K1_i(\Delta t) \cdot k_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^m K2_j(\Delta t) \cdot k_j' \cdot T_j \cdot A_j \cdot \quad (21)$$

Параметры  $C_i$  и  $A_j$  характеризуют пространственное распространение радиоактивного загрязнения в различных геосферах.

Коэффициенты  $k_i$  и  $k_j'$  корректируют пространственные оценки  $C_i$  и  $A_j$  согласно условий жизнедеятельности человека на основе существующей нормативно-регламентирующей базы (в первую очередь – НРБУ-97). А нормированные к единице коэффициенты  $K1_i$  и  $K2_j$  являются функциями приращения времени. Причем первая является убывающей, а вторая – возрастающей, что является

своеобразным отражением подавляющего потенциального превосходства совокупности возможных последствий аварийных ситуаций над уровнем современной радиологической нагрузки.

Максимальные значения этих коэффициентов соответствуют максимумам функций  $M$  и  $F$ , которые в свою очередь являются предельными оценками краткосрочного (оперативного)  $P_{short}$  и долгосрочного  $P_{long}$  прогнозов развития радиологической ситуации в регионе.

$$M_{max} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot C_i, \text{ при } \Delta t \rightarrow 0 \text{ и } F_{max} = \sum_{j=1}^m k_j' \cdot T_j \cdot A_j, \text{ при } \Delta t \rightarrow \infty \quad (22)$$

$$P_{short} = P(\Delta t) \rightarrow M_{max}, \text{ при } \Delta t \rightarrow 0, \text{ т.к. } M(\Delta t) \rightarrow M_{max} \text{ и } F(\Delta t) \rightarrow 0 \quad (23)$$

$$P_{long} = P(\Delta t) \rightarrow F_{max}, \text{ при } \Delta t \rightarrow \infty, \text{ т.к. } M(\Delta t) \rightarrow 0 \text{ и } F(\Delta t) \rightarrow F_{max} \quad (24)$$

Паритетное совмещение результатов краткосрочного и долгосрочного прогнозов является прогнозом некоей максимально неблагоприятной ситуации  $P_{max}$  – одновременной совокупности в ближайшем будущем аварийных ситуаций на всех предприятиях ядерного топливного цикла.

$$P_{max} = M_{max} + F_{max} = \sum_{i=1}^n k_i \cdot C_i + \sum_{j=1}^m k_j \cdot T_j \cdot A_j \quad (25)$$

Полученные результаты, применительно к решению вопросов разработки Государственной программы перехода региона добыча и первичной переработки уранового сырья к устойчивому развитию, позволяют определить пространственные границы указанного региона [2].

Одним из основных направлений научного сопровождения программы является выполнение научно-исследовательских, поисково-разведочных и проектных работ по оптимизации застройки территории этого региона с учетом ландшафтных, геоэкологических и других особенностей для решения жилой проблемы, комплексного развития социальной и инженерно-транспортной инфраструктуры, защиты и оздоровления экологического пространства. При этом первоочередным является вопрос разработки формализованной процедуры определения пространственной приоритетности региональной застройки.

При разработке формализованной процедуры определения общей приоритетности региональной застройки  $P$  сделаны следующие предположения (ограничения) [18].

*Необходимыми условиями* приоритетности застройки являются высокая плотность населения  $N$  и высокая плотность существующих населенных пунктов  $M$ . Т.е. необходимо развивать все существующие населенные пункты (за исключением больших городов) при наличии достаточно высокого количества (плотности) население, а не начинать строительство новых.

*Ограничениями* (природными) этой приоритетности являются: неблагоприятное современное экологическое состояние территории  $E$ , наличие опасных проявлений экзогенных и эндогенных геологических процессов  $G$  и особенности разломно-блокового

тектонического строения недр  $T$  (которые в значительной мере определяют два предыдущих фактора). Количественно для  $i$ -ого элементарного (единичного) пространственного окна

$$P_i = N_i + M_i - E_i - G_i - T_i, \quad (26)$$

где  $N_i = k_n \cdot N_{oi} / S$  ( $N_o$  – количество населения и  $S$  – площадь единичного пространственного окна),  $M_i = k_m \cdot M_{oi} / S$  ( $M_o$  – количество населенных пунктов – без больших городов),  $E_i = k_e \cdot \sum e_{ij}$  ( $e_j$  – опасные проявления  $j$ -ого экологического фактора),  $G_i = k_g \cdot \sum g_{il}$  ( $g_l$  – опасные проявления  $l$ -ого геологического процесса),  $T_i = k_t \cdot \sum t_{id}$  ( $t_{id}$  – тектонические разломы  $d$ -ого направления простирания),  $k$  – соответствующие нормирующие коэффициенты.

Для Днепропетровского сегмента исследуемого региона в качестве исходных данных для формализованной оценки общей приоритетности региональной застройки  $P$  было использовано соответственно по следующим составляющим:  $N$  и  $M$  – топографические планшеты масштаба 1:200000 и официальная статистическая информация о демографическом состоянии районов области;  $E$  – экологическая карта области с прогнозом развития региональной радиологической ситуации [27,39],  $G$  – картосхемы распространения проявлений основных экзогенных геологических процессов,  $T$  – карта систем разломов области масштаба 1:200000 [26].

Для расчетов было выбрано пространственное окно в форме квадрата с стороной 1 км. По результатам расчетов в зону общей приоритетности региональной застройки Днепропетровского сегмента региона добыча и первичной переработки уранового сырья попала почти полностью территория Пятихатского и северо-запад Верхнеднепровского районов (с максимумом на севере этих районов) [18].

Полученные результаты будут положены в основу дальнейшего более детального определения приоритетности функциональной районной застройки территории при реализации Государственной программы устойчивого развития региона добыча и первичной переработки уранового сырья.

### Заключення

Подоляючи итог необхідно отметить сле-  
дующее.

1. Использование геофизических методов и получаемой с их помощью информации позволяет повысить формализацию (математизацию) решения разнообразных геоэкологических задач в условиях техногенно нагруженных территорий Украины.

2. Для количественной оценки значимости геофизического фактора в условиях техногенно нагруженных территорий введено понятие – геофизического воздействия, под которым понимаются отклонения природного и техногенного геофизического поля от усредненного в историческом диапазоне времени уровня и вариаций соответствующего природного поля.

3. Одно из ключевых значений для изучения всех геоэкологических процессов, происходящих в недрах техногенно нагруженных регионов, имеет создание (по комплексу геолого-геофизических и аэрокосмических данных) формализованной картографической тектонической основы (экоэкологической основы) на базе известных представлений о системах докембрийских разломов.

4. Требованием современного этапа развития экологического направления в геофизике является создание (на базе традиционных «геологоразведочных» физико-геологических моделей) единых физико-техногенно-геологических моделей, всесторонне обобщающих информацию о природных и техногенных процессах.

### Перечень ссылок

1. Барьяхтар В.Г. Чернобыльская катастрофа: проблемы и решения // Доклады академии наук Украины. – 1992. – № 4. – С. 151-164.
2. Білашенко О.Г., Кравець С.О., Тяпкін О.К. Екологічне зонування території (на прикладі регіону видобування та первинної переробки уранової сировини) // Довкілля – XXI: Матеріали ІV міжнародн. молодіжн. науков. конф. – Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 2008. – С. 13-16.
3. Вахромеев Г.С., Давыденко А.Ю. Моделирование в разведочной геофизике. – Москва: Недра, 1987. – 192 с.
4. Географічна енциклопедія України: в 3-х т. / Відповід. ред. О.М. Маринич. – Київ: Українська Радянська Енциклопедія, 1989. – Т.1. – 416 с.
5. Дубов А.П. Геомагнитное поле и жизнь. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 175 с.
6. Иерархическая система петроплотностных моделей юго-востока Украинского щита / В.Ю. Коваленко, П.И. Пигулевский, В.К. Свистун, О.К. Тяпкин, И.С. Чуприна // Труды Второй Всероссийской конференции «Геофизика и математика». – Пермь: Горный институт УрО РАН, 2001. – С. 359-360.
7. Козарь Н.А., Пигулевский П.И., Тяпкин О.К. К вопросу геолого-геофизического изучения сейсмической активности юго-востока Украинского щита // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 2000. – № 6. – С. 70-75.
8. Комплексирование геофизических методов при решении геологических задач / Под ред. В.В. Бродового. – Москва: Недра, 1987. – 471 с.
9. Кравець С.А., Петрова А.В., Тяпкин О.К. К вопросу совершенствования рекреационной инфраструктуры Украины // Матеріали ІІІ міжнародн. молодіжн. науков. конф. «Довкілля – XXI». – Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 2006. – Т.3. – С. 19-20.
10. Методичні вказівки з розробки регіональних стратегій сталого розвитку / А.Г. Шапар, М.А. Ємець, П.І. Копач, С.З. Поліщук, О.К. Тяпкін, В.Б. Хазан. – Дніпропетровськ: Моноліт, 2003. – 131 с.
11. Некоторые геологические аспекты развития рекреационной инфраструктуры Украины / О.К. Тяпкин, Я.Я. Сердюк, С.П. Сердюк, Л.В. Бондаренко, В.А. Кириченко, С.А. Кравец // Екологія і природокористування: Зб. наук. праць Інституту проблем природокористування та екології НАН України. – Вип. 5. – Дніпропетровськ, 2003. – С. 108-119.
12. Никитин А.А. Теоретические основы обработки геофизической информации. – Москва: Недра, 1986. – 342 с.



13. Радіаційний стан зони відчуження у 2002 році / В.В. Деревець, С.І. Кіреєв, С.М. Обрізан, Б.О. Годун, В.Г. Халява, П.Г. Купченко, В.В. Бицуля, Б.О. Горський, О.Б. Назаров, В.А. Паланський // Бюллетень екологічного стану зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення. – 2003. – № 1(21). – С. 3-33.
14. Свистун В.К., Пигулевский П.И., Тяпкин О.К. К вопросу становления геофизики техногенной безопасности и создания тектонической основы для решения ее задач // Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Геологія, географія. – 2000. – Вип. 3. – С. 24-30.
15. Солдатенко В.П., Тяпкин О.К. Применение гравиразведки для решения экогидрогеологических задач // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1998. – № 1. – С. 53-57.
16. Стратегія і тактика сталого розвитку / А.Г. Шапар, М.А. Ємець, П.І. Копач, О.К. Тяпкін, В.Б. Хазан. – Дніпропетровськ: Моноліт, 2004. – 320 с.
17. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. – Москва: МГУ, 1997. – 368 с.
18. Троян Я.Г., Тяпкін О.К. Розробка формалізованої процедури визначення просторової пріоритетності регіональної забудови із урахуванням комплексу геолого-геофізичних та екологічних даних // Матеріали III міжнародн. молодіжн. науков. конф. «Довкілля – XXI». – Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України, 2006. – Т.2. – С. 27-29.
19. Тяпкин К.Ф. Новая модель геоизостазии // Труды XXVII сессии Международного геологического конгресса. – Москва, 1984. – С. 438-439.
20. Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н. Системы разломов Украинского щита. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.
21. Тяпкін К.Ф., Тяпкін О.К., Якимчук М.А. Основи геофізики. – Київ: Карбон Лтд, 2000. – 248 с.
22. Тяпкин О.К. Оценка точности формализованного прослеживания разломов по геофизическим данным // Доповіді Національної академії наук України. – 1998. – № 4. – С. 161-165.
23. Тяпкин О.К. Тектонический фактор в экологической геологии // Придніпровський науковий вісник. Сер. Геологія, географія. – 1998. – № 118(185). – С. 31-38.
24. Тяпкин О.К. Применение гравиразведки для оценки состояния окружающей среды в горнодобывающих районах // Труды 26-й сессии Междунар. семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». – Екатеринбург, 1999. – С. 108-110.
25. Тяпкін О.К. Геофізичне середовище і базові геофізичні показники якості життєдіяльності населення та стану навколишнього середовища // Екологія і природокористування. – Вип.2. – Дніпропетровськ: ІППЕ НАН України. – 2000. – С.92-97.
26. Тяпкин О.К. К созданию средномасштабной экотектонической основы по геолого-геофизическим данным // Науковий вісник Національної гірничої академії. – 2001. – № 5. – С. 32-33.
27. Тяпкин О.К. Прогнозирование развития радиологической обстановки в условиях юго-востока Украины // Доповіді Національної академії наук України. – 2001. – № 10. – С. 116-120.
28. Тяпкин О.К. Современные методологические проблемы экологического направления в геофизике // Сборник научных трудов Национальной горной академии Украины. – Днепропетровск, 2002. – Т.4. - № 13. – С. 101-106.
29. Тяпкін О.К. Фізико-геологічне моделювання об'єктів досліджень геофізики техногенно-екологічної безпеки // Екологія і природокористування. – Вип.6. – Дніпропетровськ: Моноліт. – 2003. – С. 148-161.
30. Тяпкин О.К. Геофизические методы решения геоэкологических задач. – Днепропетровск: Монолит, 2006. – 320 с.
31. Тяпкин О.К., Солдатенко В.П. Применение гравиразведки для оценки геолого-экологических последствий горнодобывающей деятельности // Геофизический журнал. – 2000. – Т.22. - № 1. – С. 21-30.
32. Україна: природна спадщина / За ред. В.В. Стецюка, С.Ю. Поповича. – Київ: Мінекології та природних ресурсів України, 2000. – 36 с.

33. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика /Под ред. Н.Б.Дортман. – Москва: Недра, 1984. – 455 с.
34. Шапарь А.Г., Тяпкин О.К. Экогеофизические аспекты районирования промышленно и техногенно-нагруженных регионов // Доповіді Національної академії наук України. – 1999. – № 3. – С. 133-137.
35. Шапарь А.Г., Тяпкин О.К. Использование фундаментальных законов физики Земли для решения некоторых проблем экологии // Науковий вісник Національної гірничої академії. – 2002. – № 4. – С. 95-97.
36. Шапарь А.Г., Тяпкин О.К., Сердюк Я.Я. Методичні вказівки щодо оцінки якості стану навколишнього середовища та його компонентів // Збірник методичних рекомендацій щодо впровадження еколого-орієнтованих технологій. – Дніпропетровськ: Моноліт, 2005. – С. 114-165.
37. Шрейдер А.А. Инверсии магнитного поля Земли и изменения в природной среде // Физика Земли. – 1994. – № 9. – С. 97-101.
38. Troyan J.G., Tyapkin O.K., Bugrova H.L. Geophysical Criterias of an Estimation of Conditions of Human Activity of Population of Ukrainian Southeast // Proc. EAGE 62<sup>nd</sup> Conference and Technical Exhibition. – Vol.1. – Glasgow (UK). – 2000. – Paper A-48. – 4 p.
39. Tyapkin O.K., Shapar A.G., Troyan J.G. The Prediction of Changes of a Radiological Situation of Industrial Advanced Regions of NIS // Proc. EAGE 63<sup>rd</sup> Conference and Technical Exhibition. – Vol.2. – Amsterdam (The Netherlands). – 2001. – Paper P233. – 4 p.

*O.K. Tyapkin*      **USE OF THE GEOPHYSICAL INFORMATION  
FOR FORMALIZATION OF THE DECISION  
OF GEOECOLOGICAL TASKS**

*Institute of Problems on Nature Management and Ecology National Academy of Sciences  
of Ukraine*

**The necessity development of scientific bases of new distinguished from traditional "prospecting" use of geophysical methods for increase of formalization of the decision of various geoeological tasks in conditions of the technogenic loaded territories of Ukraine is shown. The formalized rating of geophysical influence on quality of ability to live of the population and status of an environment is developed. The substantiation formalized of ecotectonical basis of the decision of geoeological tasks is carried out. The features of physical-technogenic-geological modeling of objects of geological-geophysical researches are shown. The concrete examples of use of the geophysical information for the decision of regional geoeological tasks are given.**

*Надійшла до редколегії 17 листопада 2008 р.  
Рекомендована членом редколегії канд.геол.-мін.наук Я.Я. Сердюком*