

На правах рукописи

РГБ ОД

- 7 ФЕВ 2000

Круткина Ольга Николаевна

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ,
КАК СРЕДСТВО ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В СВЯЗИ С СЕЙСМИЧЕСКОЙ
АКТИВНОСТЬЮ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ**

Специальность 11.00.11 – "Охрана окружающей среды
и рациональное использование природных ресурсов"

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Ростов-на-Дону, 2000

Работа выполнена в Южно-Российском ордена Трудового Красного Знамени государственном техническом университете (НПИ) и ФГУП «Кавказгеолсъемка»

Научный руководитель - доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН
Богуш Илья Александрович;

Официальные оппоненты - доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН,
Гавришин Анатолий Иванович;
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Лебедько Геннадий Иванович.

Ведущая организация: Северо-Кавказский региональный геологический центр.

Защита состоится "3" марта 2000г. в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д.064.40.01 при Северо-Кавказском научном центре высшей школы по адресу: 344700 г. Ростов-на-Дону, ул. Пушкинская 140.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СКНЦ ВШ.
Автореферат разослан "28" декабря 1999г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Доктор тех. наук,
профессор

Е.И. Богуславский

№ 217.18, 0
№ 9(217) 217, 0

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Северный Кавказ является уникальным эколого-охраняемым регионом, в пределах которого расположены многочисленные месторождения твёрдых полезных ископаемых, минеральных, термальных и пресных подземных вод, их рациональное использование и охрана являются важной государственной задачей. Ситуация осложняется тем, что территория региона сейсмоактивна от пятибалльной на севере, северо-западе до девятибалльной на юге и юго-востоке, по шкале Рихтера. Здесь сейсмичность является одним из факторов, ответственных за экологическую ситуацию, так как сильные и катастрофические землетрясения приводят к гибели людей и животных, порождают различные экзогенные геологические явления (обвалы, оползни, лавины и т.д.), которые наносят ущерб хозяйству.

Необратимый рост катастрофических событий и связанного с ними ущерба выдвигает в качестве приоритетной задачу прогнозирования развития современных сейсмотектонических движений, их экологических последствий и предупреждение последних. Издавна известны многочисленные гидрогеологические эффекты, связанные с усилением сейсмической активности недр, что позволяет рассматривать вопрос о возможности прогнозирования землетрясений гидрогеологическими методами и, при сравнительно небольших затратах (уже существуют сети мониторингов режимов различных водоносных горизонтов и мониторинга гидрогеодеформационного поля), вести постоянный контроль динамики гидрогеологических и сейсмозоологических условий региона. Своевременное предупреждение о грозящей экологической катастрофе даст возможность уменьшить или устранить полностью часть разрушительных последствий сейсмического события и, что самое важное, сохранить человеческие жизни. Таким образом, поиск предвестников тектонических землетрясений и прогноз последних является актуальнейшей проблемой для Северо-Кавказского региона, как и для всех сейсмоактивных зон земного шара.

Цель работы. Разработка комплексных методов обработки и интерпретации результатов сейсмозоологического мониторинга и критериев прогноза сейсмической ситуации на основе анализа гидродинамических эффектов. В соответствии с поставленной целью необходимо решение следующих задач:

- проанализировать чрезвычайные экологические ситуации, вызванные землетрясениями на Северном Кавказе;
- обобщить и проанализировать результаты многолетнего мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД) поля Северного Кавказа;

- провести ретроспективный анализ природных экологических катастроф (землетрясений) с целью выявления типовых аномалий гидродинамических полей и отдельных водоносных горизонтов;

- произвести типизацию гидродинамических аномалий связанных с сейсмичностью, разработать методику выделения сейсмогидродинамических аномалий;

- выполнить сравнительный анализ и площадную интерпретацию изменений уровней подземных вод по скважинам региональной наблюдательной сети;

- оценить масштабы изменения гидрогеодеформационного поля Земли под влиянием сейсмичности во времени и в пространстве;

- разработать схему обработки результатов сейсмогеоэкологического мониторинга и краткосрочного прогноза крупных сейсмических событий в Северо-Кавказском регионе.

Методы исследований и фактические материалы. Фактические данные собраны в процессе специальных федеральных работ по мониторингу ГГД-поля Северного Кавказа, проводимых ФГУП "Кавказгеолсъемка" с 1986 года, в рамках государственной программы мониторинга гидрогеодеформационного поля и ряда геофизических полей в Северо-Кавказском регионе. В настоящее время наблюдательная сеть состоит из 19 постов, которые контролируют основные тектонические структуры. Для анализа привлекались статистические данные более чем по пятистам землетрясениям, происшедшим как в регионе, так и за его пределами, в связи с которыми обработано более 1000000 почасовых значений уровней подземных вод и атмосферного давления, с привлечением данных по космогенным факторам, а также по другим видам предвестников.

Научная новизна. Для Северного Кавказа проведён анализ макросейсмических эффектов (с экологической точки зрения) наиболее сильных землетрясений, происшедших за всю документированную историю региона, оценены отдельные последствия усиления сейсмической активности, в соответствии с классификацией Аллисона-Палмера. Охарактеризованы экологические последствия проявления средней и слабой сейсмичности. В результате анализа многолетних режимов подземных вод с точки зрения влияния землетрясений как режимообразующего фактора, выделены основные виды гидродинамических эффектов сейсмической природы и проведена их типизация (всего шесть типов, десять подтипов). Проанализированы зависимости между параметрами землетрясений, как - то энергия, глубина гипоцентра, расчётная площадь распространения деформаций и характером предвестников (контрастность и тип аномалий, их количественная и площадная характеристики, заблаговременность появления). Автором была предложена и апробирована новая методика

обработки и интерпретации результатов режимных наблюдений УПВ (уровней подземных вод). В ней совмещён площадной анализ изменений УПВ по приведенным амплитудам и оценка режимов отдельных горизонтов с позиций типизации гидродинамических эффектов подготовки землетрясений, с целью выделения участков отличающихся аномальными изменениями геологической среды под воздействием сейсмодеформаций.

Практическое значение. В результате проведенных исследований создана система получения и обработки данных гидродинамических наблюдений с целью оперативной диагностики осложнений сейсмогеоэкологической ситуации. После ознакомления с разработанной автором методикой было принято решение о создании локальной сейсмопрогностической сети на территории Ставропольского края. Работы по ней с 1997г. ведутся непрерывно, каждую неделю в Комитет по природным ресурсам Ставропольского края отправляется прогнозный бюллетень. Последующий анализ сейсмичности показал высокую сходимость прогнозов - около 77%. На настоящий момент подписано геологическое задание на аналогичные работы для республики Карачаево-Черкессия. Сейчас ВНИИ геосистем, г. Москва, в сотрудничестве с автором, осуществляется разработка технологии компьютерного обеспечения работ по предложенной методике.

Защищаемые положения:

1. На исследуемой территории прогноз реализации сейсмического фактора неблагоприятный - то есть землетрясения, даже средних магнитуд, могут привести к серьезным экологическим последствиям;

2. Параметры сейсмического события (магнитуда, класс, глубина гипоцентра) определяют заблаговременность, характер и величину гидродинамических эффектов предвестникового характера (для землетрясений малых магнитуд характерно проявление краткосрочных мгновенных аномалий, для сильных землетрясений - любые виды аномалий и их сочетаний, плюс аномалии в момент землетрясения).

3. Реакция наблюдательных постов на сейсмические события с измеримыми параметрами разнится в зависимости от направления распространения деформаций относительно местоположения скважины, то есть от геолого-тектонического строения области подверженной напряжению.

4. Для объективной оценки сейсмогеоэкологической ситуации необходимо применение комплексного анализа индивидуальных режимов скважин и полей напряженности, отстроенных по приведённым амплитудам. Основным отличием данного подхода от принятого ранее, является параллельная оценка индивидуальных режимов постов и площадной динамики в целом.

5. Площадные построения по приведённым амплитудам уровней подземных вод отражают динамику и напряженность ГГД-поля, масштабы сейсмической активности.

Апробация работы. Основные выводы и положения диссертационной работы доложены автором на научно-практической конференции "Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза", Москва, ВСЕГИНГЕО, 1998г.; на заседаниях научно-технического совета ГУП ЦГСЭ, ФГУП «Кавказгеолсъемка», Ессентуки; на Международной конференции "Проблемы геологии и геоэкологии Юга России и Кавказа" 1997г.; на научных конференциях ЮРГТУ (НПИ) 1995-1998 г., на 2-й Международной конференции "Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа" Новочеркасск, 1999 г.

Публикации. По теме диссертации имеется 13 публикаций, 5 работ принято к печати в 1999г.

Объем работы. Диссертация объемом 158с. состоит из введения, семи глав, выводов, списка литературы из 108 наименований, содержит 35 рисунков, 6 таблиц.

Автор искренне благодарен научному руководителю профессору И.А. Богушу за постоянную поддержку и ценные советы в процессе исследований. Считает своим долгом выразить глубокую признательность за советы и помощь в работе кандидатам геол.-мин. наук Л.Д. Пруцкой и Н.И. Пруцкому, доктору геол.-мин. наук И.Г.Киссину, кандидату геол.-мин. наук А.Б. Островскому, главному геоэкологу геоэкологической партии ФГУП "Кавказгеолсъемка" П.В. Прокуронову; всем сотрудникам Северо-Кавказской партии по прогнозу землетрясений ФГУП "Кавказгеолсъемка" за содействие в выполнении работы, кандидату геол.-мин. наук Э.В. Запороженко за предоставленные фотографии и консультации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Физико-географические, геолого-гидрогеологические и сеймотектонические особенности Северо – Кавказского региона, природные ландшафты и экзогенные процессы

В главе кратко рассматриваются экономические, орографические, климатические, геолого-гидрогеологические и геотектонические особенности региона, приводятся данные об основных водоносных комплексах четвертичных, неогеновых, палеоцен-эоценовых, мезозойских и палеозойско-протерозойских отложений. Описываются природные ландшаф-

ты, выделенные на изучаемой территории. В заключение даются сведения о современном сейсмическом режиме региона, приводится схема сейсмического районирования Северного Кавказа.

Глава 2. Чрезвычайные ситуации, как результат макросейсмических эффектов. Экологические последствия усиления сейсмической активности

Во второй главе представлен анализ данных по 39 наиболее разрушительным землетрясениям Северного Кавказа с 1667 по 1997 годы, сопровождавшимся экологическими катастрофами, сгруппированным согласно основным положениям классификации Алиссона - Палмера (1984), доработанной Лобацкой, Коффом, (1997):

-воздействия на людей, растительный и животный мир (массовая гибель; возникновение эпидемий, эпизоотий, эпизофитотий; рост заболеваемости, смертность, гибель природных систем из-за изменений ландшафтных условий; - повреждения построек (частичное или полное разрушение зданий и сооружений; нарушение коммуникаций, пожары; и т.д.); -повреждения геологической среды(трещины, изменения физико-механических свойств грунта, оползни, сели, обрушение берегов, нарушение режима вод, нарушение дегазации и эксталяций земли);

Все вышеперечисленные косейсмические проявления имели место на описываемой территории ранее, и проявляются в настоящее время, что иллюстрируется многочисленными историческими примерами и описанием аномальных явлений и чрезвычайных ситуаций на Северном Кавказе, сопровождавших подготовку и реализацию наиболее крупных современных землетрясений - Спитакского (1988 г.) и Рачинского (1991г.). Отдельно описаны события экзогенного генезиса, вызванные и активизированные сейсмическими толчками даже небольшой интенсивности, являющиеся как прямым следствием землетрясений, так и фактором, значительно усугубляющим их воздействие на геологическую среду. В результате сделан вывод, что прогноз реализации сейсмического фактора на исследуемой территории неблагоприятный, то есть землетрясения, даже средних магнитуд, могут привести к серьезным экологическим последствиям.

Глава 3. Основные аспекты изученности вопроса

В главе освещается современное состояние изученности гидродинамических эффектов, предваряющих и сопровождающих землетрясения. Прогноз развития геодинамической ситуации всегда актуален и имеет

своей целью сведение к минимуму экономического и социального ущерба от катастроф. Геологическая среда является одним из важных компонентов экологической системы, чутко реагирующим на подготовку и протекание землетрясений. По времени проявления предвестниковые деформации были разделены на долгосрочные, длительностью в годы (Милькис М.Р., О. Masakazu, W. Cheng-min, J.S. Rinechart), среднесрочные (заблаговременность проявления – месяцы), которые описаны в работах А.Н. Султанходжаева, Чернова И.Г., Милькиса М.Р., Киссина И.Г., Курбанова М.К.. Наибольшее число выделенных гидродинамических предвестников носит краткосрочный характер (часы, дни), часть из них достаточно полно описана в работах М.А. Садовского, Ф.И. Монахова, А.Н. Султанходжаева, Д.Г. Осики, С.М. Голеницкого, Е.В. Пиннекера, И.Г. Киссина, В.Н. Крага, М.Р. Миликиса, Т. Kuo, Н. Wakita, Т. Rikitake, S.R. Steele, и ряда других ученых. Из работ И.Г. Киссина и А.О. Гриневского следует, что большинство гидродинамических предвестников зарегистрировано перед землетрясениями с магнитудой 6,5 – 7,5. Для Ставропольского края и республик Северного Кавказа Ю.Б. Челидзе выдвинул предположение, что аномальные изменения в режиме подземных вод этих территорий предваряют интенсивные землетрясения, что подтверждается работами Л.Д. Пруцкой по району Кавказских Минеральных Вод. Открытие "Явления глобально выдержанных быстропотекающих пульсационных изменений в гидросфере (ГГД-поля)" (Г.С. Вартанян, С.И. Куликов, 1983) позволило по новому оценить гидродинамические предвестники, указав на региональность наблюдаемых явлений в зависимости от геолого-тектонических условий Кавказского региона. Особенности эволюций ГГД-поля Северного Кавказа в периоды геодинамической активизации региона освещены в работах Шалиной Т.Е, а для Азово-Кубанского артезианского бассейна - в работах Шереметьева В.М. На Северном Кавказе с 1979 года постоянно ведутся гидрогеологические исследования с целью поисков предвестников землетрясений на Кавминводском прогностическом полигоне. Коллективом авторов (Л.Д. Пруцкая, Н.В. Батурина, О.Н. Круткина) на основании анализа изменений уровней подземных вод перед Рачинским и более слабыми землетрясениями ($M < 5$) сделан ряд выводов о структуре и динамике гидрогеодеформационного (ГГД) поля Земли: « ... ГГД-поле динамично и мозаично, его аномальные изменения охватывают большие площади и наиболее контрастны за несколько суток-часов до землетрясения». Основным недостатком проводящихся в настоящий момент исследований, является отсутствие комплексирования площадной и индивидуальной интерпретации результатов наблюдений, то есть авторами либо анализируются режимы отдельных водопунктов, либо д. амика ГГД-поля.

Глава 4. Методические основы проводимых исследований

Методика работ по организации и ведению наблюдений регламентирована "Методическими указаниями по организации и проведению гидрогеологических наблюдений на специализированной сети в целях прогноза сильных землетрясений" (ВСЕГИНГЕО, 1985) и доработана (в части обработки и интерпретации результатов) автором и коллективом Северо-Кавказской партии по прогнозу землетрясений.

Специализированная наблюдательная сеть для прогноза сильных землетрясений на Северном Кавказе состояла, на время написания работы, из 19 постов, вскрывающих напорные воды, которые контролировали практически все крупные тектонические структуры. Основным условием принятия скважины в сеть являлся ненарушенный или стабильно нарушенный режим водоносного горизонта, а так же реакция последнего на лунно-солнечные приливы. Частота наблюдений по всем постам непрерывная или ежечасная. Наблюдательные скважины не регламентированы ни глубиной (45-2000м.), ни стратиграфической принадлежностью водоносных пород, ни их деформационными свойствами, при разных гидрогеологических позициях. Это обусловило индивидуальные особенности в режиме подземных вод по каждому посту и сложности в сопоставлении получаемой информации. Величины уровней по скважинам наблюдательной сети варьируют от +7 до -43 м. В нашем случае для анализа интерес представляют не абсолютные значения уровней, а их относительные изменения в результате влияния тех или иных факторов, в частности сейсмичности. Суточные амплитуды УПВ составляют от десятков см до мм.

Площадная интерпретация результатов наблюдений впервые проведена в 1991 году, для этого автором была разработана методика построения карт-схем состояния УПВ с привлечением следующих параметров:

Ас - амплитуда уровня подземных вод за сутки,

Нс.маx - максимальное значение УПВ за сутки,

Нс.миn - минимальное значение УПВ за сутки,

Асп - амплитуда суточная приведенная,

Ас.миn₁₅ - минимальная суточная амплитуда за 15 дней (в период с 1991 – 97гг. наблюдались значения от 0 до 2700)

$$Асп = \frac{Ас_i * 10}{Ас.миn_{15}}, \text{ где } Ас_i = Нс.миn_i - Нс.маx_i.$$

Минимальное значение суточной амплитуды используется для выделения фонового состояния УПВ, условно лишённого влияния любых временных режимообразующих факторов, в расчете на краткосрочные предвестники. Временной интервал обусловлен тем, что в пятнадцать дней полностью укладывается приливный цикл, т.е. учитываются изменения УПВ как при максимальных вариациях приращения силы тяжести за счет лунно-солнечных приливов (Dg), так и при минимальных (в минимально значимую амплитуду входит постоянный минимум реакции на Dg). Пятнадцать дней отражают характер тренда как линейный и позволяют не усреднять периоды максимальных и минимальных сезонных градиентов (снять тренд прямым расчетом не представляется возможным, вследствие недостаточного времени наблюдений УПВ по отдельным постам для определения и прогноза ожидаемой динамики). Полученные в результате преобразований приведенные амплитуды сопоставимы между собой по всем постам сети. Они включают в себя влияние атмосферного давления, лунно-солнечных приливов и других режимообразующих факторов, включая сейсмичность. По мнению Д.Г. Гриднева, влияние атмосферного давления вполне сопоставимо с приливными изменениями силы тяжести. Взаимосвязь последних описывается соотношением:

$G=0,406 (P-P_0)$ мкГал, где:

P - измеренное давление,

P_0 - нормальное значение атмосферного давления (1013 мБар).

В процессе работ установлено, с применением различных статистических и ретроспективного анализов, что влияние вышеназванных факторов значительно слабее влияния высокомагнитудных сейсмических событий, и выражено в полях на уровне флуктуаций (приведённые амплитуды не превышают 100). Далее выделяется, статистически установленная, зона аномальных амплитуд ($100 < A_{сп} < 200$), показывающая как на возможное усиление сейсмической активности, так и на однонаправленное наложение воздействия нескольких факторов. И, наконец, зона критических значений приведенных амплитуд ($200 < A_{сп}$), появление которой однозначно указывает на сейсмическую опасность.

В результате систематизации и ретроспективного анализа лент УПВ и атмосферного давления, полученных на постах федеральной сети ГГД-мониторинга с 1986 по 1997г., автором были выделены основные типы сейсмогенных аномалий. Анализ проводился в совокупности с изучением сейсмического и гидрогеологического режимов региона. Обработано до 500000 значений УПВ, столько же значений атмосферного давления и поправок за приливно-отливные изменения силы тяжести, с привлечени-

ем информации по солнечной активности и атмосферным осадкам. Основными источниками данных по сейсмичности региона служили каталоги сейсмичности (Всемирный, Обнинский). По продолжительности и характеру проявления выделено шесть типов гидродинамических аномалий сейсмической природы, как краткосрочных, так и среднесрочных:

1 - изменения тренда уровня подземных вод: 1.1 - в сторону повышения УПВ, относительно "нормального" тренда, 1.2 - в сторону понижения относительно "нормального" тренда, 1.3 - стабилизация УПВ на определенных отметках;

2 - изменение реакции УПВ на лунно-солнечные приливы: 2.1 - усиление приливо-отливного эффекта, 2.2 - нивелирование приливо-отливного эффекта;

3 - нарушение реакции УПВ на атмосферное давление;

4 - высокочастотные низкоамплитудные вариации УПВ;

5 - мгновенные изменения уровня подземных вод: 5.1 – обратимые, 5.2 - необратимые;

6 - высокоградиентные, немотивированные влиянием других факторов, изменения УПВ за короткий промежуток времени (менее суток).

Разработанная типизация позволила осуществлять качественно новую оценку сейсмической ситуации и исключила субъективный подход к анализу фактического материала. Впервые выделены самостоятельные типы - мгновенные аномалии, изменение реакции на лунно-солнечные приливы, нарушение реакции на атмосферное давление, высокочастотные низкоамплитудные вариации уровня подземных вод.

Проведенные исследования позволили разработать схему оперативного прогноза сейсмотектонической ситуации для региона Северный Кавказ, не требующую затрачивания дополнительных средств и реорганизации уже имеющейся сети (пересылка лент самописцев по-прежнему осуществляется раз в декаду). Сбор информации по постам производится ежедневно, в первой половине дня, наблюдатели передают значение УПВ на восемь часов утра и сведения о наличии типовых аномалий, моменте их возникновения, величине, времени релаксации уровня, в случае наличия последней. Во второй половине дня производится анализ сводок, с привлечением базы данных, куда занесены сейсмические события, происшедшие в регионе с 1994г. и характер реакции отдельных водоносных горизонтов на их подготовку. Параллельно отстраиваются поля напряжённости геологической среды по приведённым амплитудам. После чего производится оценка состояния геологической среды.

Раз в неделю составляется отчёт о динамике сейсмотектонической ситуации на исследуемой территории и краткосрочный прогноз её развития, включающий в себя необходимое и достаточное количество карт-схем

напряжённости и заключение. При наличии аномальных изменений все посты сети опрашиваются дополнительно (проводится экстренное инспектирование), с привлечением данных геофизического мониторинга и газогидрохимии, а также ГГД-мониторинга на сопредельных территориях. После чего составляется заключение о возможной сейсмической опасности, и ставятся в известность курирующие организации (ВСЕ-ГИНГЕО, Комитет по природным ресурсам Ставропольского края).

Глава 5. Результаты применения типизации сейсмогенных аномалий уровней подземных вод

В этой главе приводятся доказательства объективности типизации сейсмогенных аномалий уровней подземных вод, а также целесообразность ее использования при проведении режимных наблюдений. С точки зрения типизации были обработаны сейсмические события (использовались все землетрясения с магнитудами более двух) и ленты самописцев УПВ за четыре года (1994-1997), по шести скважинам наблюдательной сети 2-П (Ессентуки), 4-РСП (Грушова поляна), 5-РСП (Эрсакон), 823 (Голубые озера), 11-РСП (Махачкала), 1-П (Суворовская). Выбор объектов для изучения обусловлен тем, что они обеспечивают наибольший охват различных тектонических структур и типов гидрогеологических и геологических условий. Для площадного ограничения области распространения деформаций использовались максимально возможные зафиксированные расстояния для одиночных толчков определённых магнитуд, считалось, что влияние на режим скважины оказывают события со следующими параметрами: $2 < M < 3$, $R < 100$ км; $3 < M < 4$, $R < 150$ км; $M > 4$, $R > 150$ км. В итоге обработки получены результаты, приведённые в таблице 1. Следует добавить, что абсолютно все землетрясения с магнитудами более пяти, находящиеся в пределах расчётных областей чувствительности скважин предвараются аномалиями. Однозначной зависимости между параметрами землетрясения и временем возникновения, а также амплитудами мгновенных аномалий (за исключением событий с M более 6) на настоящий момент не прослеживается, скорее, здесь имеют значения геологические и гидрогеологические условия объектов наблюдений. Однако наличествует связь между количеством аномалий и интенсивностью события. При анализе предвестников с точки зрения геолого-тектонической позиции поста наблюдений, для каждой из скважин на описываемый период времени выделены приоритетные области и направления распространения - приёма деформаций, находящиеся в зависимости от интенсивности землетрясений. Полученные результаты позволили на основе типизации создать базу данных сейсмических событий

Гидродинамические эффекты наблюдавшиеся в связи с сейсмичностью

Таблица 1

Типы гидродинамических аномалий УПВ	№ скважины					
	2П	5-РСП	823	4-РСП	11РСП	1П
События и группы, вызвавшие аномалии, шт.	81	60	108	41	85	67
Общее количество землетрясений ($D < 100$, $M < 3$; $D < 150$, $3 < M < 4$; $D > 150$, $M > 4$)	130	134	245	78	128	216
Среднесрочные предвестники, % от кол-ва событий предвараемых аномалиями						
1. Изменение тренда УПВ:	5,2	0	2	0	0	0
1.1 в сторону повышения от нормального;	0,7	0	0	3,7	0	0
1.2 в сторону понижения от нормального;	2,2	1,3	1	3,7	0	0
1.3 градиент тренда равен нулю.	2,2	1,3	1	3,7	0	0
2. Изменение реакции на лунно-солнечные приливы: 2.1 усиление эффекта;	2,9	1,3	0	0	0	0
2.2 нивелирование эффекта.	3,7	2,6	1	1,9	0	0
3. Нивелирование реакции на изменения Ратм.	1	2,6	0	0	0	0
4. Высокочастотные низкоамплитудные вариации.	7	2,6	0	1,9	0	0
5. Мгновенные изменения: 5.1 необратимые;	6,7	3,9	0	0	0	0
5.2 обратимые.	0,8	2,6	2	3,7	0	0
Краткосрочные предвестники, % от количества землетрясений предвараемых аномалиями						
1. Изменение тренда УПВ:	7	11,7	0	17	11,7	11,7
1.1 в сторону повышения от нормального;	10,4	11,7	12	24,3	17,6	17,6
1.2 в сторону понижения от нормального;	11,8	6,5	14	28,3	8,2	8,2
1.3 градиент тренда равен нулю.	11,8	6,5	14	28,3	8,2	8,2
2. Изменение реакции на лунно-солнечные приливы: 2.1 усиление эффекта;	22,9	5,2	1	0	0	0
2.2 нивелирование эффекта.	23,9	18,2	13	13,2	3,5	3,5
3. Нивелирование реакции на изменения Ратм.	14,8	9,1	38	41,5	18,8	18,8
4. Высокочастотные низкоамплитудные вариации.	22,9	23,4	11	20,7	18,8	18,8
5. Мгновенные изменения: 5.1 необратимые;	80,9	39	19	7,5	2,3	2,3
5.2 обратимые.	4,4	39	76	51	49,4	49,4
6. Высокоградиентные изменения УПВ за короткий промежуток времени (до суток)	10	37	30	17	48,2	48,2

с целью применения последней при анализе информации, получаемой в процессе режимных наблюдений по Северо-Кавказскому региону.

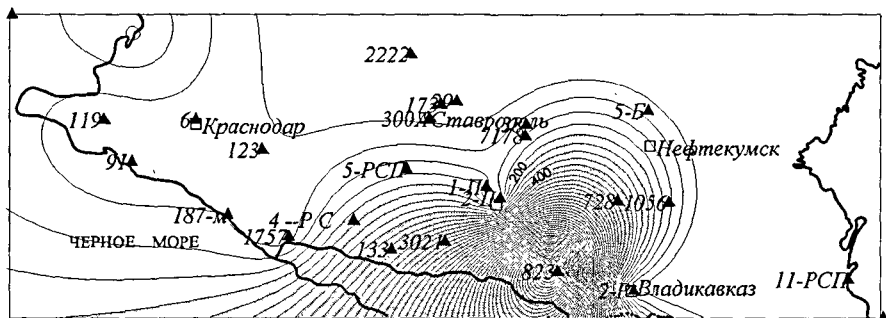
Глава 6. Результаты применения метода построений по приведенным амплитудам

При неоднозначной трактовке предвещающих землетрясение гидродинамических эффектов с точки зрения места и силы прогнозируемого события по конкретной скважине, интерпретация карт-схем напряженности по приведенным амплитудам повышает возможности локализации прогноза эпицентра и силы сейсмического удара. В ряде случаев приведенные амплитуды позволяют выделить предвестниковые эффекты там, где необработанные фактические значения УПВ не несут полезной информации. Время возникновения критических значений приведенных амплитуд на картах-схемах, как правило, совпадает со временем возникновения геофизических аномалий (электросопротивление, электромагнитный излучение). Метод построений по приведенным амплитудам позволяет фиксировать возникновение и развитие деформационного процесса (напряжения геосферы) посредством мониторинга гидрогеологических объектов и отражает динамику ГГД-поля, реагирующего на изменение напряженно-деформированного состояния литосферы. Площадь охватываемая предвестниковыми деформациями находится в зависимости от магнитуды события (рис.1) и в большинстве случаев соответствует следующему соотношению, или превышает его:

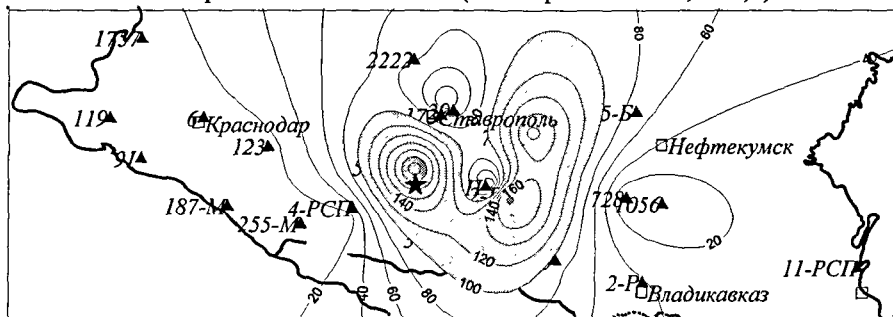
$S=3,14*10^{0,43M}$ (где M - магнитуда события, S - площадь распространения деформаций).

Для Северокавказского региона из анализа схем напряженности, построенных по приведенным амплитудам, выявлены следующие закономерности: 1. Поля, отстроенные по приведенным амплитудам, отражают состояние геологической среды и динамику ГГД-поля; 2. Напряженность среды обусловлена воздействием суммарной сейсмической энергии, накопившейся на момент построений в определенном объекте; 3. Участки критических значений приведенных амплитуд достаточно надежно оконтуривают плейстосейстовую область только сильных землетрясений, для регистрации предвестников землетрясений с магнитудами менее шести расстояние между соседними постами должно быть около 50 км.; 4. В тех случаях, когда фоновая сейсмичность понижена, а вариации УПВ вызваны лунно-солнечными приливами и изменениями атмосферного давления, не наблюдается критических значений изолиний напряженности при реконструкции полей; 5. Аномальное состояние поля формируется преимущественно за сутки - трое до события и в день землетрясения.

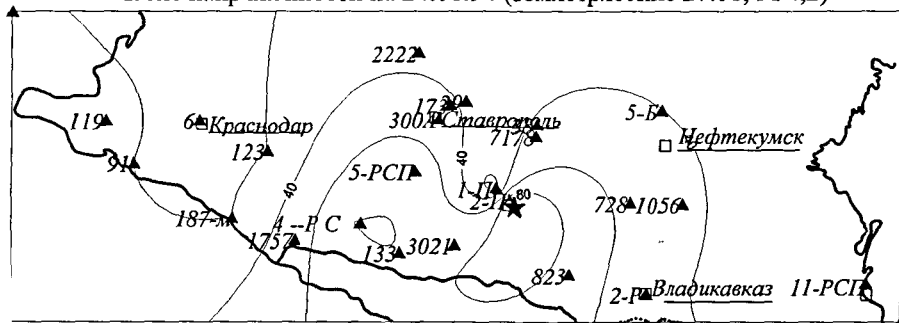
Поле напряженности на 26.04.91 (землетрясение 29.04, М 7,2)



Поле напряженности на 8.09.97 (землетрясение 9.09, М 4,8)



Поле напряженности на 24.01.94 (землетрясение 27.01, М 4,2)



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

▲ 6 - наблюдательная скважина;

— 40 - изолинии приведённых амплитуд; ★ - эпицентр землетрясения

□ - anomalous state of the field; ■ - critical state of the field.

рис. 1 Состояние полей напряженности перед землетрясениями различных энергий

Глава 7. Гидродинамические предвестники наиболее сильных землетрясений Северного Кавказа

Седьмая глава посвящена комплексному анализу всех видов и типов гидродинамических эффектов, как индивидуальных, так и площадных на сейсмические события, ощущавшиеся на исследуемой территории по макропризнакам, способные породить чрезвычайные ситуации.

Сильнейшим землетрясением, проявившимся на Северном Кавказе, было Рачинское. Магнитуда (М) главного толчка (29.04.1991 9:12: 47GMT) составила по различным оценкам от 6,9 до 7,3, кроме того, за сутки происходило до 250 ударов меньших энергий. Координаты эпицентра определены как 42.39N, 43.66E, глубина гипоцентра -6-14 км. Магнитуда основного толчка данного события является самой высокой в документированной сейсмической истории Кавказа, по макропризнакам землетрясение ощущалось на большей части Северного Кавказа. Предвестниковые аномалии начались более чем за 4 месяца (продолжительность среднесрочных предвестников составила от четырёх до одного месяца по разным скважинам) до события и к моменту первого удара охватывали две трети Северного Кавказа. Перед первым толчком по разным постам наблюдались все типы аномалий, максимальная по величине аномалия составила не менее 8бсм (тип б), а перед последним (М=6,3) проявились по ближайшим к эпицентру скважинам - скв. 823(Голубые озера) и скв. 2-Р (Владикавказ). В момент землетрясения по группе скважин (11-РСП (Махачкала), 4-РСП (Грушовая поляна), 5-РСП (Эрсакон)) на первичной записи наблюдались "мгновенные" колебания УПВ, тип 5.2, с амплитудами от 7 до 1см, которые могут быть обусловлены как нарушением термодинамического равновесия так и краткосрочными инъекциями газа (эффект газлифта), или криповыми подвижками в момент землетрясения. Обратимые мгновенные аномалии, т.5.2, УПВ зафиксированы 15.06. в связи с последним наиболее сильным афтершоком этого землетрясения (М=6,3). Критические приведённые амплитуды наблюдались на площади 158400км² (для территории Северного Кавказа), их величина превысила 2500 (26.04.91).

Следующим крупным сейсмическим событием, оказавшим ощутимое влияние на режимы скважин федеральной сейсмопрогностической сети было Борисахское (21.10.1992 г., М=6,6) С 21.10 по 26.10.1992 зафиксировано 24 толчка разных энергий, предвестниковые гидродинамические эффекты наблюдались на площади 127216км² (на территории Северного Кавказа). Максимальная величина аномалии – 23см. Заблаговременность появления предвестниковых гидродинамических эффектов составила 2 месяца и менее, наблюдались следующие типы аномалий:

среднесрочные 1.3, 1.2, краткосрочные 6, 5.1, 5.2. Мгновенные аномалии в момент толчка наблюдались по четырём скважинам. Максимальная приведённая амплитуда составила 280.

Анализ, проведенный на десять наиболее сильных землетрясений с амплитудами 4 -5,2, ощущавшихся на описываемой территории в 1994 - 1997 гг. по макропризнакам, с интенсивностью от двух до четырёх баллов, показывает, что перед сейсмическими событиями наблюдалось более 100 предвестников различных типов с заблаговременностью проявления от нескольких часов до 22 суток. Из них 61 предвестник (66%) выделяется за 7 и менее суток до толчка, что подтверждается результатами других исследователей. Большинство событий наблюдалось при сравнительно низком положении УПВ, то есть в зонах предполагаемого тектонического растяжения. Неуклонное понижение уровня подземных вод, не связанное с влиянием сезонных вариаций и техногенных факторов, рассматривалось как следствие тектонического растяжения, а повышение - сжатия (Вартамян Г.С., 1998).

Перед землетрясениями с $M < 4,5$ проявилось в два раза меньше аномалий, чем с $M > 5,5$. Перед многими сильными землетрясениями, на которые были выделены среднесуточные предвестники, наблюдалось изменение тренда УПВ в сторону повышения или понижения относительно нормального (подтип 1.1 и 1.2), усиление приливо-отливного эффекта (подтип 2.1) и появление высокочастотных низкоамплитудных вариаций уровней подземных вод (тип 4). Существовали и периоды, в которые отсутствовала видимая реакция уровней подземных вод на любые внешние факторы, такие как атмосферное давление, лунно-солнечные приливы, атмосферные осадки (тип 1.3, 2 и 3). По-прежнему, наиболее распространенным типом аномалий, перед всеми указанными землетрясениями были мгновенные аномалии, как обратимые, так и необратимые (типы 5.1 и 5.2). Значения приведённых амплитуд не превышали 250. Исходя из результатов проведённого исследования можно заключить, что и поля напряженности, отстроенные по приведённым амплитудам и индивидуальные гидродинамические эффекты несут объективную информацию о напряженно-деформированном состоянии геологической среды.

Подтверждение предвестникового характера определенных типов гидродинамических эффектов на Северном Кавказе, зависимость их количества и продолжительности от интенсивности сейсмического события позволяет рассматривать аномалии, как средство диагностики состояния окружающей среды, и возможности возникновения чрезвычайных ситуаций, вызываемых землетрясениями (Богуш, Пруцкая, Круткина, 1998).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Результаты проведенных автором детальных исследований гидродинамических процессов, как средства предупреждения чрезвычайных экологических ситуаций, вызываемых землетрясениями, позволяют сделать следующие выводы.

1. Для Северо-Кавказского региона полностью применима классификация последствий землетрясений по Аллисон-Палмеру, как и классификация основных видов вторичных экологических последствий (Дж. Гир, Х. Шах).

2. Впервые для территории Северного Кавказа автором поставлен вопрос о разработке комплексных методов сейсмоэкологического мониторинга и критериев прогноза сейсмических ситуаций на основе анализа гидродинамических эффектов. Необходимость такого подхода мотивирована тем, что при индивидуальном анализе аномалий нельзя с высокой достоверностью (за исключением случаев изменений УПВ на порядок и более, которые сопровождают далеко не все сильные землетрясения) предполагать интенсивность сейсмического толчка, так как гидродинамические эффекты выделены и на землетрясения с магнитудами меньше четырех. При интерпретации полей напряженности, отстроенных по приведенным амплитудам, можно судить об уровне накопленной энергии (только при сильных землетрясениях) и времени предполагаемой разрядки, хотя заблаговременность проявления критических ареалов сравнительно мала. Таким образом, анализ индивидуальных эффектов позволяет определить заранее наличие сейсмической опасности, а построение поля уточнить ее по магнитуде и времени вероятного землетрясения, после чего, исходя из выделенных зон наибольшей восприимчивости постов наблюдений, оконтурить область возможного эпицентра.

3. Использование разработанной автором типизации сейсмогидродинамических аномалий Северного Кавказа при анализе динамики подземных вод позволило выделить следующие факты: а) на характер, продолжительности и время возникновения предвестниковых эффектов по скважине влияют структурные особенности как очага так и сферы прохождения деформационных волн; области восприимчивости отдельных скважин - структуры изометричные, причем наблюдательная скважина отнюдь не является центром соответствующего ореала; б) среднесрочные аномалии в ряде случаев выделяются бесспорно, хотя обычно диагностируются менее уверенно, чем краткосрочные, которые по указанным скважинам составляют порядка 80% от общего количества аномалий, заблаговременность возникновения последних обычно не превышает 1 - 6 суток; д) из краткосрочных максимально количество аномалий УПВ -

А 5.1, 5.2 (мгновенные обратимые и необратимые), следует отметить, что их амплитуды имеют характерные значения для отдельных скважин и иногда отражают зависимость от параметров землетрясений; в) релаксация УПВ при краткосрочных аномалиях наблюдается до, в момент и через несколько часов и суток после землетрясения г) зачастую в момент землетрясения (с М(б) наблюдаются мгновенные обратимые или необратимые изменения УПВ по периферии области распространения деформаций; д) немаловажно также что, подтвержденное итогами обработки расстояние 100 км между скважинами сейсмопрогностической сети вполне достаточно для контроля ситуации на предмет землетрясений с магнитудой более четырех.

4. При анализе полей напряженности, отстроенных по приведенным амплитудам, получены следующие результаты: а) карты-схемы по приведенным амплитудам отражают динамику ГГД-поля (перед землетрясениями с магнитудами около четырех и более); б) в тех случаях, когда фоновая сейсмичность понижена, а вариации УПВ вызваны, в основном, лунно-солнечными приливами ($Dg=10^{-3}$) и изменения атмосферного давления критических концентраций изолиний напряженности при реконструкции полей напряженности не наблюдается; е) выявлена высокая мобильность структуры полей напряженности перед землетрясениями с наличием периодов кратковременной релаксации, которые можно связать с установлением динамического равновесия в периоды перехода от накопления напряжений к их разрядке. Критическое состояние поля формируется, преимущественно, за сутки - трое до землетрясения и в день землетрясения.

5. Из опыта применения предложенной автором методики на Ставропольском сейсмопрогностическом полигоне в 1997-1998 г.г. следует, что регулярная оценка сеймотектонической ситуации и последующие выводы позволяют осуществлять еженедельный прогноз сейсмической ситуации. С 6.07.1997 по 01.11.98 г. (временное ограничение обусловлено наличием каталогов сейсмичности по октябрь) в Комитет по природным ресурсам Ставропольского края было отправлено 40 прогнозов, которые оправдались в 31, (77%) случае, в одном случае неверно определен эпицентр, в восьми случаях прогноз не оправдался. Следует отметить, что при рассмотрении учитывалась подготовка низкомagnitudeных и среднемагнитудных землетрясений, а так же событий происшедших за пределами края и Северного Кавказа.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Метод обработки непрерывных рядов наблюдений за уровнем подземных вод при сейсмопрогностических исследованиях. Межвузовский сборник научных трудов. НПИ. Новочеркасск: 1991. С 96-102. (соавторы Глинская О.Б., Фетисова Е.А.)

2. К вопросу о мониторинге эндогенных процессов. В кн. Проблемы геологии, оценки и прогноза полезных ископаемых юга России. Тез. Докл. Зональной научн. Конф. Новочеркасск. 1995. С. 21-22 (соавтор Пруцкая Л.Д.)

3. Результаты изучения гидрогеодеформационного (ГГД) поля Северного Кавказа в связи с сильными землетрясениями. Материалы научн.-практич. Конф. "Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза". Москва. Геоинформмарк. 1998. С. 74-75 (Соавторы Пруцкая Л.Д., Батурина Н.В.).

4. Гидродинамические аномалии Кавказа, как средство прогноза чрезвычайных ситуаций, вызванных землетрясениями. Тез. Докл. заочной конф. "Безопасность России XXI века" Междунар. академия наук экологии и безопасн. жизнедеятельности. С.Петербург.1998. С. 19. (Соавторы Богуш И.А., Пруцкая Л.Д.).

5. Предложения по организации сейсмогеологического мониторинга, его структуре и критериям. В кн. Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы. Материалы междунар. конф. Екатеринбург. Ин-т. геофизики Ур. О РАН. 1998. С. 143-144. (Соавтор Пруцкая Л.Д.).

6. Реакция уровней подземных вод на землетрясения (по данным непрерывных наблюдений 1984-96 г.г. Северный Кавказ). Материалы научн.-практич. Конф. "Опыт комплексного изучения геофизич. Полей для целей сейсмопрогноза". Москва. Геоинформмарк. 1998. С. 97-98.

7. Опыт комплексного изучения физических полей на Кавминводском (КМВ) полигоне. Материалы научн.-практич. конф. "Опыт комплексного изучения геофизических полей для целей сейсмопрогноза" Москва. Геоинформмарк. 1998. С. 45-46. (Соавторы Пруцкая Л.Д., Батурина Н.В., Здоров А.Г., Растос Л.В., Фетисова Г.А.).

8. Гидродинамические предвестники землетрясений в центральной части Северного Кавказа. В кн.: Проблемы геодинамики сейсмичности и минерагении подвижных поясов и платформенных областей литосферы. Материалы междунар. конф. Екатеринбург. Инс-т. геофизики УрОРАН. 1998. С. 143-144. (Соавторы Пруцкая Л.Д., Буряков А.А., Сютин Е.Н.).

9. Методические особенности обработки фактического материала для целей прогноза сильных землетрясений (на примере Северного

Кавказа). Материалы научн. Практич. конф. "Опыт комплексного изучения. Геофизических полей для целей сейсмопрогноза". Москва Геоинформмарк. 1998. С.49-50. (Соавторы Пруцкая Л.Д., Здоров А.Г., Батурина Н.В.).

10. Некоторые аспекты сейсмогидрогеологических исследований на Северном Кавказе. Сборник ИСЛАН, РАН. Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. Вып. 3. Москва. 1999. С. 132-137. (В соавторстве с Пруцкой Л.Д., Островским А.Б. и др.).

11. Гидродинамический мониторинг как средство предупреждения чрезвычайных ситуаций, вызванных землетрясениями. В кн. Мелиорация антропогенных ландшафтов. Т. 5. Новочеркасск. Тр. Мелиоративной Академии. 1998. С. 71-74. (Соавторы Пруцкая Л.Д., Богуш И.А.).

12. Сейсмичность как один из факторов изменения геоэкологической ситуации района Кавказских Минеральных Вод" Тр. 11 Междунар. Конф.: "Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа Т. 2. Новочеркасск. 1999. С. 81-84. (Соавторы Пруцкая Л.Д., Батурина Н.В.).

13. Сейсмичность и гидродинамика как показатели активности отдельных структурно-тектонических элементов Северного Кавказа. Тр. 11 Междунар. Конф.: "Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа Т. 2. Новочеркасск. 1999. С. 85-89. (Соавтор Пруцкая Л.Д.).

