УДК 550.341.5

# Гидрогеодинамические предвестники землетрясений: зарождение и основные этапы исследований

И.Г. Киссин

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия*

**Аннотация** Первые сведения о возможности использования гидрогеологических эффектов в качестве предвестников землетрясений появились еще в начале прошлого века в работах Б.Б.Голицына. В статье рассматриваются основные этапы исследований этих предвестников: становление научного подхода, первоначальные результаты наблюдений, методические разработки, создание наблюдательных полигонов, современное состояние метода, его развитие и расширение до гидрогеофизического мониторинга, открывающего возможности контроля напряженно-деформированного состояния среды.

**Ключевые слова:** землетрясения, предвестники, подземные воды, мониторинг, гидродинамика

## Первые шаги

Изменения подземных вод, связанные с землетрясениями, известны давно. В некоторых исторических хрониках упоминается о гидрогеологических последствиях сильных землетрясений. Имеются сведения, что во время разрушительного землетрясения в Древней Греции в 426 г. до нашей эры горячие источники на о. Эвбея иссякли на три дня. Влияние разрушительного Лиссабонского землетрясения 1 ноября 1755 г. распространилось на большие расстояния. Были зафиксированы сильные изменения режима минеральных источников в Теплице (на северо-западе нынешней Чехии). Гидрогеологические эффекты, предшествующие землетрясениям, проявляются в значительно меньшей степени и поэтому не привлекали внимания.

Первые попытки использования гидрогеологических эффектов для прогноза землетрясений были предприняты в начале XX в. В 1911 г. Б.Б. Голицын, ссылаясь на исследования Ф. Мольденгауэра в Боржоми, отмечал, что резкие изменения режима пульсирующего источника во многих случаях предшествуют землетрясениям. Далее он писал: «…Сейсмическая комиссия постановила организовать правильные параллельные наблюдения как над температурой, пульсацией и дебитом Екатериненского источника в Боржоме, так и над одним из Ессентукских источников Пятигорской минеральной группы, одновременно с наблюдениями над различными сейсмическими явлениями» [Голицын, 1960, с. 71]. Таким образом, основоположник российской сейсмологии Б.Б. Голицын впервые указал на возможность использования флюидных предвестников землетрясений. Тогда же им были разработаны приборы для измерения пульсации источников. Однако в дореволюционной России эти исследования не получили развития.

## Становление научного подхода

Горные породы в верхних частях земной коры, начиная с глубин от нескольких метров до 30–40 м, насыщены водой, заполняющей порово-трещинное пространство. Любые изменения напряженно-деформированного состояния такой двухфазной среды отражаются на флюидном давлении и могут фиксироваться посредством наблюдений в системе скважина – водоносный горизонт. В гидрогеологии хорошо известны подобные реакции подземных вод, связанные с вариациями атмосферного давления, воздействием приливообразующих сил и техногенными нагрузками. Первые наблюдения за приливными колебаниями уровня подземных вод были проведены в середине XIX в. За последующие 100 лет был накоплен довольно значительный объем таких наблюдений, которые проводились в колодцах и скважинах различной глубины в разных регионах [Мельхиор, 1968]. Земноприливные возмущения могут рассматриваться как аналоги изменений напряженно-деформированного состояния среды при подготовке землетрясений. Есте-

© Киссин И.Г., 2008

ственно, что примеры приливных колебаний уровня подземных вод послужили ключом к пониманию возможности использования гидрогеологических эффектов в качестве предвестников землетрясений.

Интерес к поиску предвестников землетрясений, в частности по химическим характеристикам подземных вод, усилился после Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. Поначалу внимание было сконцентрировано на химическом составе флюидов, прежде всего радоновом показателе [Уломов, Мавашев, 1967]. Наряду с изучением химического состава было предложено использовать для поиска предвестников землетрясений наблюдения за температурой и дебитом подземных вод [Венгренівський, Фаловський, 1967]. Автор не касается здесь гидрогеохимических предвестников землетрясений, исследования которых получили довольно широкое развитие в последующие годы. Отметим лишь, что изменения гидрохимических характеристик при подготовке землетрясений в известной степени вторичны. Они лишь в небольшой степени непосредственно связаны с напряженно-деформированным состоянием среды, а обусловлены преимущественно динамикой флюидов – изменением условий фильтрации, смешением вод или газов различного состава. Таким образом, без понимания гидродинамических условий невозможно установить природу изменений гидрохимических показателей.

В 1968 г. руководитель работ по прогнозу землетрясений в Институте физики Земли АН СССР (ИФЗ) И.Л. Нерсесов поручил автору ознакомиться с гидрогеологическими условиями и сейсмической обстановкой Таджикистана и подготовить программу исследований гидрогеодинамических предвестников землетрясений. В дальнейшем исследования, предусмотренные этой программой, были частично реализованы при организации работ по прогнозу землетрясений, которые проводились ИФЗ и связанными с ним региональными институтами в республиках Средней Азии. В Китае на рубеже 1960-х – 1970-х годов была разработана программа предсказания землетрясений, в которой предусматривались и наблюдения за режимом подземных вод [Сое, 1971].

Некоторые положения программы, составленной в ИФЗ, были отражены в публикациях, в которых рассматривались возможности использования системы скважина – водоносный горизонт как индикатора напряжений, возникающих перед землетрясением, и обсуждались вероятные механизмы формирования гидрогеодинамических предвестников [Киссин, 1970, 1971]. В тот период из-за отсутствия данных натурных наблюдений за гидрогеодинамическими предвестниками об их механизме можно было судить лишь предположительно, исходя из представлений о напряжениях и деформациях среды при подготовке очага землетрясения. На этой основе было высказано предположение о двух стадиях развития предвестника – медленных и довольно продолжительных изменениях давления (уровня) подземных вод, связанных с накоплением напряжений в области потенциального очага, и более быстрых и кратковременных вариациях этого показателя, обусловленных развитием пластических деформаций и трещин-предвестников на последнем этапе подготовки сейсмического разрыва [Киссин, 1970]. Как показали последующие результаты наблюдений, зафиксированные гидрогеодинамические предвестники в большинстве случаев соответствовали этой схеме.

## Первоначальные результаты наблюдений – 1970-е годы

До начала 1970-х годов достоверные данные о наблюдениях гидрогеодинамических предвестников землетрясений в нашей стране и за рубежом не были известны. Единичные сообщения о таких эффектах не получали подтверждения. Так, перед землетрясением близ г. Перт (Австралия) 14 октября 1968 г. ($M$=7) в группе неглубоких скважин на расстоянии 130 км от эпицентра было отмечено кратковременное повышение уровня воды, что квалифицировалось как предвестник землетрясения. Однако в дальнейшем выяснилось, что изменение уровня воды совпало по времени с дождем и не связано с землетрясением [Gregson et al., 1976].

К этому периоду относятся попытки выделения предвестников землетрясений в имеющихся массивах данных наблюдений за режимом подземных вод. Такие предвестники было обнаружены перед многими сильными землетрясениями. Приведем некоторые примеры. За 12 ч до землетрясения в Газли (Узбекистан) 17 мая 1976 г. ($M$=7.3) резко снизился уровень воды в скважине, расположенной на расстоянии более 200 км от эпицентра [Ишанкулов,

Калугин, 1976]. Резкие колебания дебитов воды, нефти и газа предшествовали некоторым землетрясениям на Северном Кавказе [Осика, 1979]. Китайскими учеными были установлены четко выраженные изменения уровня подземных вод перед катастрофическими землетрясениями Хайченским 4 февраля 1975 г. [Prediction…, 1977] и Таншаньским 28 июля 1976 г. [Wang Chengmin et al., 1984]. Данные по Хайченскому землетрясению были использованы в числе других предвестников, позволивших осуществить первый в истории прогноз землетрясения и эвакуацию населения, предотвратившие вероятные многочисленные жертвы катастрофы. В результате статистического анализа режима гейзеров в Йеллоустонском парке (США) было обнаружено, что за 2–4 года до землетрясения в радиусе 100 км от эпицентра учащались извержения гейзеров [Rinechart, 1972]. Анализ перечисленных и ряда других данных наблюдений показал перспективность изучения режима подземных вод для поисков гидрогеодинамических предвестников землетрясений [Киссин, 1981].

Во второй половине 1970-х годов были начаты целенаправленные наблюдения за гидрогеодинамическими предвестниками. С этой целью использовались имеющиеся гидрогеологические скважины, предназначенные для различных целей, позже в наблюдательную сеть включались и специально пробуренные скважины. В 1976 г. была начата непрерывная регистрация колебаний уровня подземных вод по группе скважин на о. Кунашир (Ф.И. Монахов). В это же время начал функционировать Ашхабадский полигон в Туркмении, где наблюдения велись под руководством М.Р.Милькиса. С 1979 г. проводятся наблюдения на Кавминводском полигоне (Л.Д.Пруцкая). В меньших объемах выполнялись наблюдения и в некоторых других сейсмоактивных регионах страны.

В апреле 1979 г. в Париже под эгидой ЮНЕСКО был организован Международный симпозиум по прогнозированию землетрясений. Заседания симпозиума проходили в оптимистическом настрое – казалось, что задача сейсмического прогноза близка к практическому решению. К сожалению, дальнейшее развитие исследований не оправдало этих ожиданий. Из большого количества докладов, представленных на симпозиуме, только два касались гидрогеодинамических предвестников. Эти доклады были посвящены результатам работ на Курильских островах (М.А.Садовский и др.) и предвестникам Таншаньского землетрясения 1976 г. (Ван Ченьмин и др.).

## Методические разработки

В начальный период исследований выделение гидрогеодинамических предвестников проводилось по натуральным рядам наблюдений, которые выполнялись примитивными приборами и без дополнительной обработки данных. При этом возникали серьезные затруднения, связанные с необходимостью регистрировать слабые вариации тех или иных показателей и их высокочастотные колебания.

Для обеспечения прецизионных измерений уровня воды и атмосферного давления в ИФЗ были разработаны датчики с частотным преобразованием и емкостным съемом электрического сигнала [Малугин, 1988]. Эти датчики позволяют проводить измерения уровня (давления) воды и атмосферного давления соответственно с чувствительностью не хуже 0.05 мм водяного столба и 0.5 Па в диапазоне изменений давлений $2 \cdot 10^5$. Режим измерений может быть непрерывный или дискретный, что при частотном диапазоне внешних воздействий на датчик уровня от $10^{-8}$ до $10^2$ Гц позволяет регистрировать как низко-, так и высокочастотные колебания уровня воды, в частности, колебания при прохождении сейсмических волн. Датчики уровня воды с подобными характеристиками ранее в практике гидрогеологических или геофизических наблюдений не использовались.

Впервые временные методические указания по гидрогеодинамическим наблюдениям для выявления предвестников землетрясений были составлены в ИФЗ в 1978 г. По мере накопления опыта наблюдений их методика совершенствовалась, и на этой основе были разработаны «Методические рекомендации по наблюдениям для выявления гидрогеодинамических предвестников землетрясений» [Киссин, Савин, 1986], утвержденные Междуведомственным советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству в качестве нормативного документа. В методических рекомендациях рассматривался весь комплекс работ по выделению гидрогеодинамических предвестников: выбор оптимальных пунктов

| Наблюдаемые показатели | | Основные изменения насыщенной среды | Диапазон известных эффектов-предвестников | Степень влияния основных помех[1] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Основные | Разновидности | | | Атмосферное давление | Атмосферные осадки | Техногенные воздействия |
| Пластовое (поровое) давление воды или нефти | Собственно пластовое давление. | Пористость пород | – | 2 | 3 | 3 |
| | Давление на устье скважины | | 0.01–0.15 МПа | 2 | 3 | 3 |
| | Уровень воды | | 5 мм – 57 м | 3 | 3 | 3 |
| | Поровое давление в слабопроницаемых толщах. | | – | 2 | 1 | 1 |
| Дебит воды (нефти) | | Проницаемость, пористость пород | 5–500%, до полного прекращения излива | 1 | 2 | 3 |
| Дебит спонтанного газа | | Проницаемость, пористость пород | До 400% | 3 | 1 | 3 |
| Соотношение вода/ нефть в нефтедобывающих скважинах | | Вязкость нефти, проницаемость пород | 5–600% до полного обводнения или прекращения притока воды | 1 | 1 | 3 |
| Водопроводимость | | Проницаемость пород | – | 1 | 1 | 1 |

[1] Оценка влияния помех дана в баллах: 1 – слабое, 2 – среднее, 3 – сильное.

*Таблица 1. Некоторые характеристики различных модификаций гидрогеодинамических предвестников землетрясений*

наблюдений, порядок измерений различных показателей, обработка полученных данных с устранением помех и выделением полезного сигнала, который может рассматриваться как предвестник землетрясения.

При наблюдениях полезный сигнал, обусловленный деформациями среды, связанными с подготовкой землетрясения, часто теряется из-за большого уровня помех. Для выделения такого сигнала необходимо выбирать объекты с высоким соотношением сигнал/помеха и устранять оставшиеся помехи посредством обработки данных. Существует несколько модификации гидрогеодинамических предвестников по наблюдаемым показателям (табл. 1). Наиболее распространенными из них являются уровень и дебит подземных вод. К основным помехам при выделении предвестников относятся влияние атмосферного давления, атмосферных осадков и техногенных воздействий. Для разных модификаций этих предвестников это влияние различно.

Программы обработки рядов наблюдений за уровнем подземных вод, содержащиеся в «Методических рекомендациях…» [Киссин, Савин, 1986], предназначенные для ЭВМ типа ЕС, в настоящее время устарели. Более совершенная технология вычислительных процедур с использованием современной компьютерной техники была разработана А.А.Любушиным с сотрудниками применительно к анализу временных рядов геофизического мониторинга, в частности, рядов наблюдений за уровнем подземных вод [Любушин (мл.), 1993; и др.].

## Наблюдательные полигоны – 1980-е годы

К этому десятилетию относится период наиболее интенсивного развития работ по поиску предвестников землетрясений, в частности предвестников гидрогеодинамических. Расширяются имеющиеся наблюдательные сети, организуются новые полигоны. Институтом физики Земли был создан Ферганский полигон в Таджикистане. Здесь были организованы комплексные наблюдения за вариациями показателей по различным геофизическим полям с использованием современной аппаратуры и средств регистрации. Гидрогеологические наблюдения проводились по четырем скважинам. Несмотря на короткий период функционирования этого полигона, выполненные на нем работы позволили накопить ценный опыт наблюдений и обработки данных. Были также получены

некоторые новые результаты, в частности, обнаружены пилообразные колебания уровня подземных вод.

На Ашхабадском полигоне была расширена наблюдательная сеть, в составе которой к 1990 г. насчитывалось около 30 скважин. Преобладающая их часть расположена в зоне Главного Копетдагского разлома. Высокая сейсмическая активность и разветвленная сеть скважин, которые отличались низким уровнем помех, создали очень благоприятные условия для исследования гидрогеологических эффектов, связанных с землетрясениями и другими геодинамическими процессами. Анализ длительных рядов наблюдений позволил установить особенности реакции подземных вод на такие процессы [Kissin et al., 1996].

Была значительно расширена наблюдательная сеть на Северном Кавказе, которая насчитывает около 25 скважин и охватывает все сейсмоактивные территории этого региона. За длительный период здесь накоплены многочисленные данные о гидрогеодинамических эффектах землетрясений не только местных, но и удаленных (в Турции и Иране).

В сравнительно небольших масштабах проводились наблюдения за гидрогеодинамическими предвестниками землетрясений в других сейсмоактивных регионах: на Гармском полигоне (И.Л.Нерсесов), в Узбекистане (А.Н.Султанходжаев), в Киргизии (Э.Э.Оролбаев), в Прибайкалье (Е.В.Пиннекер, В.Г.Ясько), на Камчатке (Г.Н.Копылова). Для исследований гидрогеодинамических предвестников большое значение имеет возможность отличать их от иных эффектов, связанных с различными геодинамическими процессами. С этих позиций представляют интерес наблюдения, выполненные в асейсмичных районах. Подобные наблюдения были проведены А.М.Гуменом в района Припятской впадины (Белоруссия).

За рубежом наибольшее развитие исследования гидрогеодинамических предвестников получили в Китае. В 1980-е годы здесь были развернуты наблюдательные системы в ряде сейсмоактивных районов. Большая заслуга в организации этих работ принадлежит выпускникам советских вузов ныне профессорам Ван Ченьмину, Цай Цзухуану, Ши Хуасинь и Чжан Вэй. Наблюдения проводятся на многих хорошо оборудованных станциях, где часто вместе с гидрогеодинамическими изучаются и гидрогеохимические предвестники землетрясений. За период с 1979 г. по 1987 г. по наблюдательным сетям в Китае были выявлены гидрогеодинамические предвестники 36 сильных землетрясений с магнитудой $M$=4.4–7.6.

В США гидрогеодинамические наблюдения были сосредоточены преимущественно в Калифорнии, в зоне разлома Сан-Андреас. Наиболее интересными результатами этих наблюдений было выявление реакции подземных вод на криповые подвижки [Wesson, 1981]. В Японии, где основное внимание уделялось исследованиям влияния землетрясений на химический состав флюидов (Х.Вакита), наблюдения за гидрогеодинамическими предвестниками не получили достаточно широкого распространения. Однако в тех районах, где имелись наблюдательные скважины, такие предвестники были зафиксированы.

## Гидрогеофизический мониторинг – контроль напряженно-деформированного состояния среды

**В** последнее десятилетие прошлого века и в начале века нынешнего возобладало скептическое отношение к перспективам сейсмического прогноза, на наш взгляд, неоправданное. Несколько ослабел интерес к исследованиям предвестников землетрясений. Однако разработки, связанные с поиском гидрогеодинамических предвестников, показали, что реакция подземных вод проявляется не только на возмущения, связанные с подготовкой землетрясений, но и на геодинамические процессы различной природы – как естественные, так и техногенные.

В ИФЗ был разработан метод гидрогеологического мониторинга земной коры, или гидрогеофизического мониторинга, который основан на способности подземных вод и других флюидов реагировать на изменения напряженно-деформированного состояния земной коры [Киссин, 1993]. Использование этого метода для слежения за различными геодинамическими процессами требует тех же подходов, которые упоминались выше применительно к изучению гидрогеодинамических предвестников: выбора оптимальных по своим характеристикам пунктов наблюдений, прецизионной аппаратуры для измерения гидрогеологических показателей, обработки данных наблюдений с компенсацией помех и выделением «деформационного» сигнала.

**Таблица 2.** *Генетические разновидности гидрогеодинамических эффектов*

| Тип | Подтип | Группа |
|---|---|---|
| **Тектонические** | Сейсмические | Предшествующие |
| | | Косейсмические |
| | | Постсейсмические |
| | Асейсмичные | Криповые |
| | | Деформационно-волновые |
| | | Неспецифичные |
| **Космические** | | Приливные |
| **Вулканические** | | |
| **Атмосферные** | | Барометрические |
| **Техногенные** | | Флюидогеодинамические |
| | | Взрывные и вибрационные |
| | | Горные |
| | | Строительные |

Гидрогеодинамические эффекты как отклик системы скважина–пласт на деформации среды различаются по генезису. В табл. 2 включены эффекты, которые уже были зафиксированы в разных регионах посредством мониторинга. Помимо предвестников, а также известных ко- и постсейсмических эффектов, это криповые подвижки. Реакции на деформационные волны были зафиксированы в Прикопетдагской зоне [Барабанов и др., 1988] и на Гармском полигоне [Нерсесов и др., 1990]. К неспецифичным эффектам отнесена реакция подземных вод на современные вертикальные движения земной коры, которая была зафиксирована в районе Бишкека (Киргизия) [Kissin, Orolbaev, 1988]. Имеются примеры, подтверждающие и другие эффекты, перечисленные в табл. 2.

В заключение необходимо коснуться еще одного метода определения деформации среды по данным гидрогеологических наблюдений. Во ВСЕГИНГЕО был предложен метод изучения гидрогеодеформационного поля Земли, исходящий из предпосылки, что вариации уровня подземных вод в региональном плане адекватно отражают изменения объемной деформации пород [Вартанян, Куликов, 1982; Вартанян и др., 1991]. При этом по результатам гидрогеологических наблюдений на сети скважин определяют условные величины деформаций, затем по компьютерной программе осуществляют построение гидрогеодеформационного поля. Подобные построения были выполнены применительно к деформациям, предшествующим и сопутствующим некоторым сильным землетрясениям.

Как признают авторы метода, он не учитывает влияния на уровень подземных вод изменений атмосферного давления и некоторых других помех [Вартанян и др., 1991]. Кроме того, при построении поля исходят из предпосылки о линейной зависимости между объемными деформациями среды и изменениями давления воды. При этом совершенно не учитываются различия тензочувствительности скважин, которая определяет нелинейную зависимость вариаций флюидного давления или уровня воды от деформаций. Известно, что сильная неоднородность коры вследствие ее блокового строения и литологических особенностей приводит к большим различиям фильтрационных свойств. Поэтому одинаковые деформации пород могут дать совершенно различные эффекты изменения уровня воды в соседних скважинах, вскрывающих разные водоносные горизонты или разделенных разломом. Указанные соображения свидетельствуют о недостаточной обоснованности и низкой эффективности метода гидрогеодинамического поля, который в некоторых регионах нашей страны еще используется для поиска предвестников землетрясений.

**Литература**


*Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Милькис М.Р.* Проявления деформационных волн в гидрогеологическом и сейсмическом режимах зоны Передового Копетдагского разлома // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1988 . № 5. С. 21–31.

*Вартанян Г.С., Куликов Г.В.* Гидрогеодеформационное поле Земли // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262, № 2. С. 310–314.

*Вартанян Г.С., Бредехофт Дж.Д., Роуэллофс Э.* Гидрогеологические методы исследований тектонических напряжений // Сов. геология. 1991. № 9. С. 3–12.

*Венгренівський О.Ф., Фаловський О.О.* Деякі принципи прогнозування землетрусу методами гідрогеологіі // Доп. АН УССР. Б. 1967. № 9.

*Голицын Б.Б.* Избранные труды. Т. I. Сейсмология. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 460 с.

*Ишанкулов Р., Калугин Г.П.* Об изменениях уровня воды в пределах Букантауского горного массива во время Газлийского землетрясения // Районирование сейсмичской опасности и поиски предвестников землетрясений. Ташкент: Фан, 1976. С. 65–66.

*Киссин И.Г.* К прогнозированию землетрясений гидрогеологическими методами // Сов. геология. 1970. № 3. С. 118–120.

*Киссин И.Г.* Об исследованиях роли воды в сейсмических процессах // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1971. № 3. С. 39–48.

*Киссин И.Г.* Гидрогеодинамические предвестники землетрясений // Сов. геология. 1981. № 11. С. 118–126.

*Киссин И.Г.* Гидрогеологический мониторинг земной коры // Физика Земли. 1993. № 8. С. 58–69.

*Киссин И.Г., Савин И.В.* Методические рекомендации по наблюдениям для выявления гидрогеодинамических предвестников землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. 52 с.

*Любушин А.А. (мл.)* Многомерный анализ временных рядов систем геофизического мониторинга // Физика Земли. 1993. № 3. С. 103–108.

*Малугин В.А.* Автоматическая манометрическая аппаратура в гидрогеофизических исследованиях: Автореф. дис. … канд. физ.-мат. наук. М.: ИФЗ АН СССР, 1988. 20 с.

*Мельхиор П.* Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.

*Нерсесов И.Л., Лукк А.А., Журавлев В.И., Галаганов О.Н.* О распространении деформационных волн в земной коре юга Средней Азии // Физика Земли. 1990. № 5. С.102–112.

*Осика Д.Г.* Опыт разработки и перспективы практического использования геохимических и гидрогеологических методов прогноза места, силы и времени мелкофокусных землетрясений // Геохимия. 1979. № 3. С. 354–364.

*Уломов В.И., Мавашев Б.З.* О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Докл. АН СССР. 1967. Т. 176, № 2. С. 319–321.

*Coe R.S.* Earthquake prediction program in the People's Republic of China // Trans. Amer. Geophys. Union. 1971. Vol. 52, N 12. P .940–943.

*Gregson P.J., Smith R.S., McCue K.F.* An explanation of water level changes preceding the Meckering earthquake of October 14, 1968 // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1976. Vol. 66, N 2. P.631–632.

*Kissin I.G., Orolbaev E.E.* Hydrogeological indications of recent movements of the Earth's crust // J. Geodyn. 1988. Vol. 9. P. 63–74.

*Kissin I.G., Belikov V.M., Ishankuliev G.A.* Short-term groundwater level variations in a seismic region as an indicator of the geodynamic regime // Tectonophysics. 1996. Vol. 265. P.313–326.

Prediction of the Haicheng earthquake // EOS Trans. Amer. Geophys. Union. 1977. Vol. 58, N 5. P. 236–273.

*Rinechart J.S.* Fluctuations in geyser activity caused by variations in earth tidal fones, barometric pressure, and tectonic stresses // J. Geophys. Res. 1972. Vol. 77, N 2. P. 1297–1301

*Wang Chengmin, Wang Yaling, Guo Yixin.* Some results of groundwater level observation in earthquake areas in China during the past 15 years // A collection of papers of International symposium on continental seismicity and earthquake prediction. Beijing: Seismol. press, 1984. P. 501–513.

*Wesson R.L.* Interpretation of changes in water level accompanying fault creep and implications for earthquake prediction // J. Geophys. Res. 1981. Vol. 86. P. 9259–9267.

**Сведения об авторе**

**КИССИН Иснау Гаврилович**
*доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли РАН.*
123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, Тел.: 254-87-35. E-mail: Kissin@ifz.ru

## Hydrogeodynamic precursors of earthquakes– origin and basic stages of investigations

**Isnau G. Kissin**

*Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

Primary information about possibility of using of hydrogeologic effects as earthquake precursors appeared in the beginning of previous century in publications of B.B. Golitsin. There have been desenibed main stages of research of this precursors: formation of scientific approach, initial results of observations, methodic principles, creation of observation networks, recent being of method, its development and growing to hydrogeophysic monitoring giving the possibility of control stress-strain state of medium.