

ISSN 2221-3198

# ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

№ 2 / 2017



УДК 556.3+556.5+551.24  
DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9490

## ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЗЕМНОЙ КОРЕ И ДИНАМИКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ БАСЕЙНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД – ВОЗМОЖНОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ В КАТАСТРОФИЧЕСКИХ НАВОДНЕНИЯХ

© 2017 В. Н. Конешов<sup>1</sup>, д.т.н., Т. А. Трифонова<sup>2</sup>, д.б.н., Д. В. Трифонов<sup>3</sup>,  
С. М. Аракелян<sup>3</sup>, д.ф.-м.н., проф.

<sup>1</sup>ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва, ул. Б. Грузинская, 10/1;

<sup>2</sup>ФГБОУВО Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, 1;

<sup>3</sup>ФГБОУВО Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых, Россия, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, e-mail: arak@vlsu.ru

Обсуждается возможное влияние тектонических напряжений на возникновение катастрофических наводнений посредством механизма модификации 3D-сетей скальных формаций и транзита подземных вод в этой естественной транспортной системы в условиях функционирования водосборного бассейна реки. Считается, что несколько наводнений (не паводков) имевших место в 2013-2014 годы, вероятно, могли быть связаны с соответствующими сейсмическими процессами в земной коре. В практическом аспекте предлагаемая гипотеза может оказаться полезной при предварительном определении потенциально опасных районов, где могут происходить катастрофические события, связанные с водой, принимая во внимание влияния состояния подземной гидросферы и тектонической структуры реологического участка земных недр на конкретных территориях.

**Ключевые слова:** бассейн реки, грунтовые воды, поверхностные воды, сейсмические процессы, катастрофические наводнения.

### Введение

В настоящей статье обсуждается состояние подземных вод в их вероятной роли в катастрофических водных событиях на поверхности Земли. Рассмотрение проведено в рамках единой концепции тектоники с учетом комплексных взаимовлияющих процессов в разнофазной неоднородной среде, которую представляют собой земные недр.

Взаимосвязь сейсмических явлений и процессов в подземной гидросфере была ранее детально исследована [Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982; Павленко, 2009; Флюиды и геодинамика, 2006; Копылова, 2006, 2008]. При землетрясениях образуются гидроразрывы, которые могут иметь характерные масштабы трещины от микроразмеров до макроразмеров – региональные разломы и мегаразломы. Такие мощные гидроразрывы при давлении 10-15 килобар в нижней коре формируют гидродинамическое поле аномалий с ареалами радиуса от 300 до 1000 км и до ~ 1000 км (при энергетическом классе землетрясения  $K \geq 17$ ) с высокими показателями по дебитам и уровням жидкой фазы (вода, нефть) при землетрясениях магнитудой больше 6,0. Кроме того, изменения в подземной гидросфере могут служить пред-

вестниками землетрясений [Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982]. Закономерности гидродинамических режимов подземной гидросферы и влияние на них различных факторов, в т. ч. атмосферного давления, тектонических сил и лунно-солнечного притяжения, рассматривалось уже давно в ряде работ [см., например, Вартанян и др., 1987; Вартанян, 1995; Волейшо, 1984].

Однако, роль такого воздействия на возникновение водных чрезвычайных ситуаций – наводнений, селей – практически не обсуждается. Трудности рассмотрения подобных задач связаны с противоречивостью ряда представлений об очагах землетрясений в областях с сильными тектоническими напряжениями [Леонов, 2008].

Кроме того, роль тектонических процессов в развитии катастрофических водных ЧС и явлений проявляются в кратковременных процессах. Разгрузка напряжений в аспекте изменения состояний подземных вод происходит по внезапно открывающимся трещинам при аномально больших давлениях, т. е. имеет место принципиально нестационарный процесс, который может также быстро прекратиться в условиях преимущественного сжатия при тектонических давлениях [Гольдин, 2002; Киссин, 2015]. Исследования в данной области берут начало еще с классических работ А. В. Николаева [Николаев, 1965, 1973; Николаев и др., 1997].

Тем не менее, общие закономерности и тенденции динамики развития подобных ЧС генетически связаны со сравнимыми процессами в пространственных масштабах, в которых реализуются динамические/периодические явления в подземной гидросфере и земной коре [ср. с Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982].

Таким образом, сейсмические процессы могут определять ЧС гидрологического характера именно в связи с провоцированием катастрофических водных явлений, происходящих на земной поверхности. Такое провоцирование, вероятнее всего, происходит вследствие перестройки 3D-сети речного бассейна, бывшей до этого устойчивой. Разумеется, необходимо иметь в виду простое изменение физико-химических характеристик подземных водных источников при подготовке землетрясений, но оно обычно – относительно слабое и неоднозначное.

В этом случае существенное значение принадлежит изменению карты гидродинамических/гидростатических давлений в сложно устроенной гидрологической схеме подземных вод под влиянием геодинамических и сейсмических процессов наряду с другими факторами – теми же атмосферными осадками, эффектами перколяции/инфильтрации и капиллярности в проницаемых трещиноватых горных породах.

Целью наших исследований является анализ одновременного воздействия факторов различной природы, «эффекта домино», в генезисе катастрофических наводнений для условий различных регионов.

### **Предлагаемый подход**

О гидрогеологических предвестниках землетрясений уже многие годы идет широкая дискуссия, проводятся комплексные исследования по прогнозу землетрясений.

Исследование гидрологических ЧС ведется с целью ее прогнозной задачи: изучение подготовки землетрясений, проявляющихся в изменении состояния подземных вод, в основном химического состава воды в скважинах. Одновременно решается и обратная задача – прямое действие в гидрологическом аспекте. Когда земле-

трясение уже произошло, его последствием может быть катастрофически сильный выброс подземных вод из-за резкого возрастания давления в отдельных областях подземной гидросферы и перестройки 3D-сети речного бассейна.

В плане анализа устойчивости сложной динамической системы данная проблема состоит не столько в фиксации отклонений ее параметров от нормальных значений, а в выявлении условий, приводящих к разрушению системы. Состав и физико-механические свойства различных грунтов, определяющие их прочность и динамические характеристики, хорошо известны [см., например, Лысенко, 1972; Jakob, Hungt, 2005]. При этом важное значение имеет изменение механических свойств грунтов, проявляющееся в их разжижении при землетрясениях, что может служить причиной выброса подземных вод из-за изменившихся реологических свойств пород [Павленко, 2009; Константинова, Пинегина, интернет-ресурс].

Данный эффект возможен, но он совсем не обязателен, является редким и требует выполнения ряда условий – «совпадения» нескольких факторов. Тем более, что гидродинамические предвестники землетрясений, которые определяются предсейсмическими разрядами напряженного состояния пород, часто приводят к снижению уровня воды, наблюдаемое в скважинах. Подобные механизмы изменения уровня воды в скважинах перед землетрясениями исследованы и определяются эффектом трещинной дилатансии в водовмещающих породах и увеличением их емкости [Игумнов, Степанян, 1989; Копылова, 2005].

Таким образом, основные положения нашего подхода сводятся к следующему: во-первых, – к утверждению о функционировании на территории единой 3D-сети речного бассейна; во-вторых, – о транзите водных масс в ней по системе трещин разной иерархии, и это происходит в динамике как неотъемлемая часть естественных циклов функционирования речного бассейна; в-третьих, о наличии достаточного ресурса подземных вод, особенно в приповерхностном слое; в-четвертых, и это главное, о необходимости анализа причин, из-за которых происходит внезапная перестройка топологии этих трещин и, как следствие, – возможный триггерный выброс подземных вод наружу. Последний эффект связан и с экстремальными атмосферными осадками. Все это указывает на одновременное действие сейсмических, геодинамических и метеорологических процессов, на что ранее не обращалось достаточного внимания при прогнозировании рисков возникновения водных стихийных бедствий.

Топология трещиноватости горных пород и, соответственно их водопроницаемость, не сводится к простым схемам с регулярными каналами на одинаковых уровнях. Необходимо учитывать фрактальные топологические структуры для транзита воды в виде различного типа регулярных и стохастических «деревьев» 3D-системы трещин [Трифорова и др., 2014]. Однако, если пространственный масштаб этой в общем случае стохастической структуры 3D-сети трещин имеет достаточно большую характерную длину между последовательными бифуркациями (извилистостью), то совокупность отдельных ее фрагментов для оценки режима подземных вод может быть рассмотрена как регулярная сумма их участков в рамках стандартных моделей различных типов гетерогенного строения области фильтрации – трещино-блоковой, пористо-блоковой и слоистой [см., например, Фисун, Ленченко, 2016].

В рамках данных моделей можно проанализировать водопроницаемость/расход воды в трещиноватых горных массивах в аспекте транзита подземных вод из глубины на земную поверхность.

Основные геометрические параметры модели – средний поперечный размер  $i$ -той трещины (ее радиус  $r_i$ ), величина ее шероховатости (высота выступов  $\Delta r_i$ ), и, соответственно, относительная шероховатость  $\Delta r_i/r_i$ . Они определяют режим движения воды наряду с градиентом потока, зависящим от гидравлического уклона, состава пород и других факторов, фиксирующих эффекты фильтрации и перколяции.

Для нас сейчас важно, что процедура оценки расхода воды  $Q$  через отдельные трещины хорошо известна – как с гладкими стенками, так и со стенками с шероховатостями – и определяется в зависимости от режима течения – ламинарного и/или турбулентного потока [Рац, Чернышев, 1970]. Расчеты по динамике подземных вод, используемые в инженерной практике при решении гидрогеологических задач, хорошо известны даже в учебной литературе [см., например, Фисун, Ленченко, 2016]. Однако, мы остановимся на простой оценке зависимости расхода воды от значения  $r_i$ .

В простейшем случае ламинарного потока в канале с гладкими стенками ( $\Delta r_i/r_i \rightarrow 0$ ) имеем для  $Q_i$ :

$$Q_i = \frac{m}{12\mu} (r_i)^3 I,$$

где  $m$  – объемный вес воды,  $\mu$  – коэффициент ее вязкости,  $I$  – напорный градиент, определяемый отношением разницы гидростатических напоров на участке к длине участка.

Вывод, который следует из приведенного соотношения – суммарный расход воды через совокупность  $N$  мелких трещин  $\sum_i^N Q_i$  может существенно увеличиваться при увеличении их раскрытия. Например, при раскрытии в 2 раза, т. е.  $(r_i + \Delta r_i) = 2r_i$ , что для мелких трещин (например,  $r_i = 1$  мм) является рутинным процессом, это приводит к увеличению расхода  $Q$  почти на порядок. Таким образом, раскрытие трещин – главное для движения подземных вод; влияние же роста числа трещин не столь существенно.

Соответственно, величины гидродавлений в такой системе сильно увеличиваются с уменьшением  $r_i$  ( $\sim 1/r_i^4$  в модели ламинарного потока для канала круглого сечения), что способствует повышению вероятности прорыва вод при прочих равных условиях.

Принципиальный вывод из этого результата – перестройка 3D-сети трещин с существенным увеличением расхода воды вовсе не уникальный процесс, требующий каких-то глобальных изменений и разломов в земной коре, как может показаться. Такая перестройка является следствием локального влияния разных мелких факторов – дождевых потоков, микросейсмике и слабых вибраций, в т. ч. антропогенного характера, и др. Эти факторы играют роль спускового механизма и приводят к дальнейшему раскрытию трещин по всей 3D-сети и/или на ее отдельных участках из-за реализации положительной обратной связи в системе, возникающей благодаря взаимосвязи отдельных трещин друг с другом. Сама степень этой взаимосвязи, естественно, также подвержена влиянию тех же и/или иных внешних причин.

Действительно, поскольку важны как сама сложившаяся топология канала выброса подземных вод, так и оказываемое им сопротивление движущемуся потоку воды, то принципиальным эффектом, приводящим к положительной обратной связи в такой системе, является образование области разрежения в месте скоростного водного выброса. Это может происходить в полостях самих земных недр, а также и на земной поверхности. Эффект зависит от величины скорости потока, определя-

емой соотношением Бернулли [см., например, Рац, Чернышев, 1970; Скотт, 2007]. Создающаяся область аттрактора притягивает к себе новые массы воды из других подземных горизонтов и водных объектов. Особенно сильно это может проявляться в условиях потоков жидкости, вращающихся под действием неинерциальных сил, в локализованных областях аналогично вихревым водным структурам типа водоворотов, а также циклонам/антициклонам в атмосфере и смерчам, которые резко увеличивают массоперенос и проницаемость транспортных водных путей [Соколовский, Веррон, 2011]. При турбулентном потоке такое раскрытие и очищение трещин очень значимо. Эффект аналогичен действию водоструйных вакуум-насосов, создающих существенно пониженное давление, 10-20 мм рт. ст. в объеме, из-за струи воды. Это обеспечивает подсосывание воды вместе с седиментами за счет сил поверхностного трения и, соответственно, к совместной транспортировке такой гидросмеси – эффект Вентури [Лямаев, 1988].

Данные нестационарность и нелинейность процесса в условиях влияния эффекта Бернулли – резкое падение давления (гидроудар) в скоростном жидком потоке в расширяющуюся полость – объясняют, на первый взгляд, странный факт, когда огромные локальные давления в земных недрах не всегда приводят к ожидаемым мощным водным выбросам на земной поверхности.

### **Примеры взаимодействия сейсмических волн и подземных вод**

Изменение состояния подземных вод в связи с сейсмическими событиями или их подготовкой обычно рассматривается при изучении гидрогеологических предвестников: гидродинамических, гидрохимических и гидрогеотермических [см., например, Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982; Копылова, 2008]. Однако, связь сейсмических явлений напрямую с катастрофическими наводнениями практически не анализируется для конкретных событий.

Остановимся выборочно на ряде подобных примеров.

Сейсмическая волна от сильного землетрясения у берегов Японии (11.03.2011) привела к поднятию грунтовых вод в штате Виржиния (США) и возникновению сейшевых волн во фьордах Норвегии, которые сыграли роль своеобразных естественных резонаторов [Bondevik et al., 2011]. С другой стороны, хорошо известны синхронные колебания уровней воды в различных речных бассейнах, расположенных на расстояниях в тысячи километров, что, по некоторым представлениям, связано с единой сетью подземных вод, регулируемой общими процессами в земной коре и верхней мантии [Гольдин, 2002; Леонов, 2008]. Этот механизм отвечает, по-видимому, за четко зарегистрированную корреляцию между пиками показателей уровня воды в реках Эльба, Дунай и Рейн при катастрофическом наводнении в Центральной Европе в июне 2013 г.

После катастрофического, локализованного, водно-грязевого выброса в г. Крымск Краснодарского края 12.07.2012, в котором подземные воды, по нашему предположению, играли доминирующую роль [Трифорова и др., 2014], в течение нескольких месяцев после произошедшего события из-за нарушения водного баланса в системе поверхностной и подземной компонент речного бассейна фактически исчезло Неберджайское водохранилище – более 7 млн. м<sup>3</sup> воды [Росводресурсы, 2014]. Это, вероятно, связано с восстановлением ресурсов подземных водных коллекторов из-за их истощения во время катастрофического события. Данный факт исчезнове-

ния значительного водного объекта, к сожалению научным сообществом не комментируется, хотя подобная ситуация наблюдалась при схожих обстоятельствах здесь же и в 2001 г. Аналогичное явление происходило и во время катастрофического наводнения в Приамурье (сентябрь 2013 г.), когда с поднятием уровня воды в р. Амур (более 9 м в районе г. Комсомольск-на-Амуре) практически одновременно упал уровень воды в р. Лена в Усть-Кутском районе Якутии и в Иркутской области (на территории Киренского района) до уровня, меньше судоходного – на расстоянии более 2000 км [Росводресурсы, 2014]. Эти коррелированные процессы с противоположным поведением попеременно происходят в руслах двух великих рек в среднем с интервалом в 12 лет, что также позволяет предположить наличие не только связи между ресурсами подземных вод, но и саморегуляторных функций для восстановления устойчивых состояний гидросферы. В этом же плане можно рассматривать неожиданно сухой сезон в Приамурье, приведший к обширным лесным пожарам в конце апреля 2014 г., хотя вплоть до октября 2013 г. именно на этой территории происходило длительное наводнение, которое должно было надолго увлажнить всю территорию. Интересно также отметить факт исчезновения знаменитой долины гейзеров на Камчатке в июне 2007 г. из-за схода селя/оползня, которая начала восстанавливаться под напором подземных вод, начиная с 2012 г. [Вести.Ру, интернет-ресурс].

Гидрогеодинамические аномалии наблюдались и в гейзерах Йеллоустонского национального парка на северо-западе США на расстоянии свыше 5000 км от эпицентра Аляскинского землетрясения, произошедшего 27.03.1964 г. с магнитудой  $M > 9,0$  [Киссин, 2015].

Фундаментальное и детальное рассмотрение фактических данных по гидрогеологическим методам поиска предвестников землетрясений (в частности в Камчатском регионе) выполнялись неоднократно. Регулярные постсейсмические изменения в уровне воды в артезианских скважинах Камчатки подтверждены многократными замерами [Копылова, 2005, 2006, 2008]. В связи со Спитакским землетрясением (07.12.1988 г.), например, приведем ряд фактических данных [Игумнов, Степанян, 1989].

Для такого изолированного по времени события, каким являлось Спитакское землетрясение (Армения, 07.12.1988,  $M 6,9$ , глубина очага – около 10 км, глубина фокальной области афтершоков – 2-7 км), наблюдались существенные изменения в гидрогеохимическом и гидродинамическом режимах подземных вод. В частности, в ряде Араратских скважин после Спитакского землетрясения (вплоть до расстояний порядка сотен километров от эпицентра) по результатам синхронных замеров резко увеличился дебит: для скважины №1 (условный номер) – с 0,25 до 0,5 л/с; для скважины №2 – с 0,3 до 0,7 л/с; а бывшая сухая скважина №3 – стала самоизливаться с дебитом до 0,5 л/с; скважина №4 за сутки до землетрясения перестала изливаться, а после землетрясения – стала изливаться непрерывно в течение трех суток, и ее напор повысился почти в 3 раза. Кроме того, увеличилась также минерализация воды почти в 3 раза, вероятно, из-за перетока воды из более глубоких водоносных горизонтов с солеными и рассольными водами при усилении гидравлической связи в рамках единой системы подземных вод. В целом, выбросы большого количества воды (в том числе в виде внезапного кратковременного бурного потока) при сильных землетрясениях являются обычным процессом [ср. с Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982]. Они, по свидетельствам очевидцев, наблюдались и при Спитакском событии.

Синхронный осцилляционный отклик уровня воды в артезианских скважинах (глубиной 80 м) в штате Виржиния, г. Крисченсберг (США) регистрировался во время сейсмических толчков амплитудой 7.4 (по шкале Рихтера) в Гватемале, г. Чамперико, 07.11.2012 [Virginia Groundwater Responseto Guatemalan Earthquake, 2012, интернет-ресурс].

Более того, эмпирически доказаны и значительные временные (вплоть до нескольких месяцев) и пространственные (сотни километров) масштабы влияния сейсмической активности на гидрогеологические процессы [Хуторской и др., 1999].

Наблюдаемые явления подтверждают, что землетрясение магнитудой в несколько единиц приводит в соответствующем речном бассейне к поднятию воды на несколько метров [Гольдин, 2002]. Надо полагать, что такая разгрузка напряжений в руслах рек происходит в корреляции с состоянием подземных вод и установлением нового устойчивого гидробаланса в системе. Следует отметить, что анализ разрушений на разных территориях при Спитакском землетрясении 1988 г. позволяет сделать вывод о заметной корреляции зон максимальных разрушений с расчлененностью русел в речных бассейнах, т. е. с топологией и бифуркацией трещин в земной коре [Трифопова, 1994, 1995, 2008].

Схожее действие на внезапную перестройку 3D-транспортной сети транзита подземных вод может оказывать вулканическая активность, влияя на состояние подземной гидросферы [Кирюхин и др., 2010].

Кроме того, необходимо учитывать и антропогенный фактор в плане индуцирования вибраций, а также гравитационные/периодические эффекты и др., в т. ч. в условиях развития в грунтах эффектов тиксотропии под действием данных причин.

Таким образом, влияние современных тектонических процессов на состояние подземных водных бассейнов (особенно, горных рек) вполне наблюдаемо. Оно происходит в совокупности с другими факторами, также влияющими на транзит подземных вод, в том числе из-за сильных ливневых дождей. Более того, вполне вероятно, что они провоцируются горячими выбросами из земных недр, а затем конденсируются в атмосфере (в т. ч. на частицах пепла) – в виде облаков [Осика, Черкашин, 2008; Основы..., 1980, 1982]). Редкость этих событий – с периодичностью в десятки-сотни лет и даже существенно больше – [см., например, Котляков и др., 2012; Данилов-Данильян и др., 2014] – говорит о необходимости совокупного одновременного действия многих факторов, которые могут способствовать освобождению путей выхода подземных вод на поверхность и вызывать катастрофические наводнения.

### **Вероятные условия и механизмы влияния тектонических процессов на подземные воды: доминирующие факторы**

Предлагаемая концепция тектонического режима территорий основана на факте расслоенности корового слоя Земли, его латеральной неоднородности и внутренней 3D-подвижности глубинных горных масс. Такое нарушение монолитности горных пород, их фрагментарность связаны с гранулированностью среды на микро- и макроуровне, т. е. с наличием свободного пространства между дискретными твердыми частицами (Леонов, 2008). Устойчивость подобных систем обеспечивается, в том числе заполненностью пустот водой как из собственно подземных источников, так и из-за просачивания поверхностных вод. Характерные максимальные глубины для этих двух механизмов можно оценить значениями от 10-15 км и до десятков-со-

тен метров, соответственно [Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982]. Такая гранулированность, являющаяся результатом процессов деструкции, приводит к блочно-иерархической структуре и характерна даже для совокупности литосферных плит [Гольдин, 2002; Jaeger, Nagel, 1992]. При этом возможен вертикальный переход пород между разными оболочками литосферы (вертикальная аккреция), сопровождающийся смещением даже их границ – «мерцающие границы». Этот геодинамический процесс, по-видимому, должен определять и вертикальный подъем подземных глубинных вод во время землетрясений.

К сожалению, к непосредственно наблюдаемым (измеряемым) величинам можно отнести только сдвиговые перемещения, а возникающие вследствие этого (и важные для настоящего обсуждения) напряжения и деформации являются лишь результатами модельных вычислений [Леонов, 2008]. Поэтому мы следуем формату логических предположений на основе наблюдаемых в естественных условиях процессов, в частности, основываемся на механизме разрушения горных пород путем образования трещин скола, что характерно для перехода от хрупкого процесса к пластическому процессу, который приводит к 3D-деформации горных пород, а в целом – к их объемной подвижности на всех уровнях.

Такая глубинная динамика земной коры, способствующая структурной расчлененности и тектоническим срывам на границах литосферных структур, может проявляться в поверхностных явлениях, в том числе в выходах на поверхность водных масс. В этом аспекте исследование речных водных бассейнов и процессов в них дает возможность изучать данные явления в «3D-формате», поскольку речное русло есть индикатор проявления на поверхности глубинных процессов в единой топологии 3D-сети трещин [Трифонова, 1994]. В геологических исследованиях по подобным обнаженным (поверхностным) участкам, хорошо различаемым по космоснимкам, не только оценивают строение, в частности зоны трещиноватости всего массива в целом, но и анализируют объемную подвижность и тектонические течения [Леонов, 2008]. Для водных потоков такая 3D-картина движения подземных водных масс тем более представляется естественной и отражает реологические свойства горного ландшафта.

Таким образом, при сильных тектонических процессах прямого действия, особенно в скальных массивах, выброс подземных вод вероятен как катастрофический. Однако не надо думать, что влияние оказывают исключительно планетарного масштаба процессы. Действительно, как обсуждалось в предыдущем разделе, выброс воды возможен и без этих исключительных условий для определенного режима изменения водопроницаемости в горных массивах.

Далее, обсуждаемый трещиноватый водный коллектор обладает определенной анизотропией зависящей от топологии трещин. Поэтому расход воды для выброса подземных вод требует использования статистических расчетов с тензорными величинами для оценки водопроницаемости и, соответственно, выброса подземных вод по разным направлениям [ср. с Рац, Чернышев, 1970]. Это в итоге и определяет локальную область, с которой начинается катастрофическое событие на территории речного бассейна – часто в мелких притоках, сухих руслах, для которых такое раскрытие трещин резко и качественно меняет их режим функционирования [ср. с Jakob, Hungr, 2005].

При рассмотрении влияния подземных вод на катастрофические наводнения процессы блоково-разрывной тектоники выступают на первый план. Фиксация су-

шествующих в земных недрах (в относительно стабильные/спокойные периоды) больших объемов глубинных подземных вод проводится по скачкообразному изменению на границах их локализации скорости распространения сейсмических волн. Подобные количественные изменения ключевых параметров-индикаторов могут служить основанием для нашего, понятного по сути, подхода даже при отсутствии фактической доказательной измерительной базы. Она, кстати, явно недостаточна даже для такого общепринятого явления как тектоническая расслоенность [Леонов, 2008]. Более того, признанная в настоящее время концепция объемного пластического течения горных масс вплоть до их выхода на дневную поверхность – модель жидкости с высокой вязкостью в экстремальных физических условиях в коре – не может не затрагивать подземные воды.

Действительно, их ресурсы, во-первых, огромны и, во-вторых – представляют единую водную сеть на большой территории с характерными геологическими пространственными масштабами [Зверев, 2011; Подземные воды..., 2007]. Именно динамическая активизация этих водных масс (как в виде слоев, так и изолированных линз) и может происходить в единстве с глубинными тектоническими процессами. Постепенно включая в себя крупномасштабные срывы, вязкие разломы, зоны пластического течения и даже относительное проскальзывание литоплит [Леонов, 2008].

Сейсмические волны могут воздействовать на грунтовые воды через механизмы, во-первых, усиления сейсмических колебаний (на частотах 0,2-10 Гц) в приповерхностных слоях глубиной до 100-200 м, а также в обводненных зонах (волноводах), где реализуются меньшие значения плотностей среды и сейсмических скоростей. Во-вторых – благодаря резонансным явлениям в верхних частях разломов из-за эффектов отражения и преломления и соответственно, – интерференции волн. В-третьих – усиления нелинейной связи «напряжение-деформация» в зависимости от интенсивности сейсмических воздействий при глубинах очагов землетрясений 10-20 км [Николаев, 1965; Павленко, 2009]. Кроме того, в результате постоянных циклических нагружений с небольшой амплитудой из-за микросейсмических колебаний повышается давление в поровой жидкости (вплоть до килобар), и происходит процесс разжижения грунтов. Тогда водонасыщенность пород может резко увеличиваться, и процессы тиксотропии могут способствовать образованию цементоподобных на поверхности масс после того, как событие завершилось [Jakob, Hungr, 2005]. Такие массы часто наблюдаются при селях и сходах ледников [Павленко, 2009; Константинова, Пинегина, интернет-ресурс].

Подобное формирование режима функционирования подземных вод в зависимости от сейсмичности требует анализа в рамках соответствующих математических моделей при наличии достоверного ряда измерений с учетом их коррекции на действие других факторов влияния – атмосферного давления, приливных волн и др. [Вартанян и др., 1987; Вартанян, 1995].

Эти процессы ускоряются/наиболее наглядно проявляются в определенных зонах, особенно, – в горных условиях, где трещиноватость хорошо развита, и могут приводить к катастрофическим водным событиям на земной поверхности из-за резкого изменения гидростатического/гидродинамического давлений (по разным причинам) в некоторых секторах подземной гидросферы.

Однако, принципиальным для нашей задачи является вопрос – является ли подземная водная система открытой или закрытой. В первом случае ключевой параметр – избыточное давление в определенной области водного горизонта может

плавно стравливаться, во-втором – поведение системы приводит к возникновению взрывного/триггерного процесса. Для подземных изолированных объектов последний, скачкообразный, процесс может быть катастрофическим в аспекте выхода подземных вод на земную поверхность. Для него проведенные нами оценки в случае катастрофического грязе-водного события в г. Крымск Краснодарского края 6-7 июля 2012 г., исходя из параметров наблюдаемого водного потока [Котляков и др., 2012], на основе простой гидравлической модели [Trifonova et al., 2014] приводят к значению давления в водном горизонте приблизительно в 65 атм, если выброс происходит с глубины 12 м и к значению в 79 атм. – с глубины 150 м. При этом мы в рамках модели триггерного процесса для выброса воды считали, что в дальнейшем распространение водного потока идет в виде солитонного объекта [ср. Trifonova et al., 2014; Скотт, 2007].

Без признания такого комплексного и масштабного влияния современной тектоники, наряду с другими явлениями, на 3D-транспортную сеть подземных вод, затруднительна интерпретация катастрофических наводнений и внезапных/триггерных, селевых выбросов. При этом важны временные параметры излива подземной воды на поверхность – медленное в обычных условиях и взрывное/триггерное, например, при произошедшем сейсмическом событии. Для подземных водных потоков, вырвавшихся на поверхность во втором случае, процесс в дальнейшем может продолжаться по первому сценарию. Именно с этими механизмами следует ассоциировать, во-первых, водно-грязевые мощные селевые выбросы, происходящие локализовано за короткое время, и, во-вторых, длительные катастрофические наводнения на больших территориях (мы обсудим эти вопросы в следующем разделе в связи с рядом недавних катастрофических наводнений 2013-2014 гг.).

Сразу отметим, что речь идет не о глобальной проблеме формирования некоторой особой гидрологической системы в условиях влияния сейсмических процессов, а о трансформации сложившейся 3D-системы трещиноватости горного ландшафта (обеспечивающей транзит подземных вод и устойчивый водный баланс речного бассейна) под действием различных факторов, в т. ч. сейсмических процессов.

Подобное воздействие особенно сильно, когда уровень грунтовых вод близок к земной поверхности; именно эти территории характеризуются неустойчивостью гидрологического режима в аспекте выброса подземных вод на поверхность. Такая ситуация характерна, например, для бассейнов рек Енисей и Амур, простирающихся на стыках Байкальской и Каледонской; Байкальской, Герцинской и мезозойской складчатостей [Гольдин, 2002; Киссин, 2015; Леонов, 2008; Основы..., 1980, 1982].

Управляющий параметр в задачах взаимодействия тектонических процессов с подземными водами – соотношение между величинами разных давлений (на глубине  $z$ ) в земной коре – геостатическим  $p_z = \rho g z$ , где, например, для гранита плотность  $\rho \sim 2,5-3$  г/см<sup>3</sup>, и гидростатическим  $p = \rho_w g z$ , где для обычной воды плотность  $\rho_w = 1$  г/см<sup>3</sup> ( $g = 980$  см/сек<sup>2</sup> – ускорение свободного падения). Уже на глубине  $z \sim 1,5$  км эти два давления сравнимы по величине [Зверев, 2011; Осика, Черкашин, 2008]. Другого порядка значения имеет пластовое давление  $p_{пл}$  на больших глубинах при тектоническом сжатии ( $z > 100$  км), которое может составлять 50-100 тыс. атм. (при этом температура  $T \sim 700-1100$  °С) и доходит даже до 1200 тыс. атм. (с  $T \sim 3700$  °С). При таких экстремальных значениях вода как субстанция флюида сильно минерализована и насыщена седиментами (с большой плотностью  $\rho \sim 1,8$  г/см<sup>3</sup> в магме при сверхкритических температурах). Она находится под давлением

$p$ , которое в этих условиях может превышать  $p_{пл}$ , что приводит к восходящим тепловым источникам для зон тектонических разрывов и 3D-системы трещин [Зверев, 2011; Леонов, 2008]. По-видимому, с этим явлением может быть связано наблюдаемое при землетрясениях локализованное (через трещину на поверхности) обугливание приземных частей кустарников при сохранении в целом их корневой системы за счет выброса тепла наружу. Например, это регистрировалось при Спитакском землетрясении.

Очевидно, что рассматриваемые аномалии давления могут реализовываться на земной поверхности, например, в виде внезапных водно-грязевых выбросов, если в соответствующем грунтовом слое существуют для этого необходимые условия проницаемости и трещиноватости породы. Более того, сама резкая модификация системы трещин, особенно при сильных землетрясениях, может стимулировать триггерный процесс выброса подземных вод. При этом, хотя 3D-сеть трещин/разломов и является единой системой, но разные ее участки могут активизироваться неравномерно и неоднородно в зависимости от конкретных тектонических напряжений в породах в районах этих участков и близости приповерхностных вод. Такая неоднородность водных потоков в практически соседних руслах и притоках, действительно, наблюдалась в огромном бассейне р. Амур (площадь – более 2 млн. км<sup>2</sup>) при наводнении в сентябре 2013 г. Это хорошо видно на космоснимках [Данилов-Данильян и др., 2014].

Подобные явления в целом характерны для процессов горообразования и движений в разломах литосферных плит. Например, при вертикальных подвижках пород всего в несколько сантиметров происходит выделение огромной энергии, эквивалентной движению горных масс в миллиарды тонн [Павленко, 2009]. Уместно в связи с этим отметить хорошо известное явление оседания суши в связи с истощением ресурсов подземных вод. Так, например, практически вся территория Японии оцифрована на этот процесс, и соответствующая карта показывает существенное опускание суши (оседание поверхности) – в среднем на несколько сантиметров в год – именно, как считается, из-за уменьшения уровня подземных вод, в том числе в связи с их тотальным хозяйственным использованием [Подземные воды..., 2007].

Если говорить об обратной задаче – влиянии подземных вод на модификацию тектонических напряжений, – то данный процесс имеет самостоятельное тектоническое значение для подготовки землетрясений, в том числе и в аспекте передачи напряжений в подземном водном бассейне на большое расстояние из-за слабой сжимаемости воды [Киссин, 2015; Основы..., 1980, 1982]. Такую передачу напряжений необходимо рассматривать в совокупности с влиянием ливневых дождей, которые приводят как к высвобождению транспортных путей из-за дренажного механизма, так и к увеличению поверхностных водных масс (в озерах, водохранилищах и т. д.) и, соответственно, к увеличению давлений в единой гидравлически связанной 3D-системе бассейна реки.

### **Анализ ряда катастрофических наводнений, произошедших в 2013-2014 гг.; роль и характер влияния геодинамических процессов**

Конкретные районы, в которых возникают условия для проявления катастрофических водных событий (в их связи с тектоническими явлениями), определяются геологическим строением земной коры и режимами распространения в ней сейс-

мических волн. Действительно, при упругой деформации горных пород, когда реализуется высокая способность к передаче действия сейсмических волн, речь может идти о далеких по расстоянию от эпицентра землетрясения водных событиях – до тысячи километров. При вязко-пластической деформации пород – связанные сейсмические и водные события, вероятнее всего, локализованы на одной территории до десятков-сотен километров. При хрупкой деформации горных пород, разрыве сплошности под действием скальвающих или растягивающих напряжений, разрушения происходят по трещинам дробления и разломам, что способствуют мгновенному выбросу подземных вод из-за «тектонических шоков». В этих условиях возникают зоны разветвления, слияния и пересечения трещин и разломов; эти зоны оцениваются размерами в десятки-сотни метров в поперечнике; по ним – при их подвижности – большие объемы подземных вод могут выходить на поверхность. Особенно благоприятны в этом случае «сквозные трещины», пронизывающие несколько водных горизонтов.

Однако, влияние этих факторов зависит от глубинного строения литосферы, где из-за вертикальной слоистости системы (в том числе и из-за наличия водных горизонтов) существуют сейсмически прозрачные и непрозрачные слои и объемы с разными характеристиками. Так на глубине до 50-60 км, где проходит граница Мохоровичича коры и мантии, плотность пород и скорости сейсмических волн соответственно равны  $2,66-2,75 \text{ г/см}^3$  и  $5,2-5,9 \text{ км/с}$ .  $3,2 \text{ г/см}^3$  и  $8,0-8,1 \text{ км/с}$  для коро-во-мантийной смеси верхней мантии [Шаров, 1993].

В рамках современных представлений о подвижности литосферных плит, в которых в нашу эпоху реально происходят широкомасштабные латеральные течения горных масс, эти тектонические режимы не детерминированы предшествующей геологической историей развития территорий [Леонов, 2008].

Поскольку под понятием подземной гидросферы понимаются разные глубинные масштабы ее локализации в зависимости от рассматриваемой задачи, то для нас важен лишь анализ возможных причин ее выхода из устойчивого состояния в определенных локальных областях. В связи с этим упомянем грязевые вулканы в качестве иллюстрации реализующегося внезапного, регулярно повторяющегося, процесса. Аналогичный механизм выхода на поверхность грязе-водных масс (из-за скачка давлений) должен быть характерен при провоцировании внешними причинами катастрофических наводнений и селей [ср. с Jakob, Hungr, 2005].

В результате оценки корреляций для отмеченных событий (землетрясение – наводнение), проведенной по этим данным, удалось установить: 1) временной шаг в 6-19 дней для наступления наводнения при коэффициенте корреляции (между магнитудой землетрясения и временем наступления наводнения) больше 0,3; 2) расстояние между двумя событиями в 1,3-2,1 тыс. км с коэффициентом корреляции больше 0,4. Хотя получены относительно низкие значения корреляций, они позволяют все же выявить общий тренд. Он достаточно очевиден: чем сильнее сейсмическое событие, тем, с одной стороны, на большее расстояние могут распространяться тектонические напряжения (и на это требуется большее время). С другой стороны, оно должно проявиться в стимулировании наводнения, поскольку для этого требуется меньше времени. Конечно, ситуация намного сложнее – все определяется типом распространяющихся сейсмических волн, их длиной волны, структурой земной коры в анализируемых случаях и другими факторами, о которых частично говорилось выше.

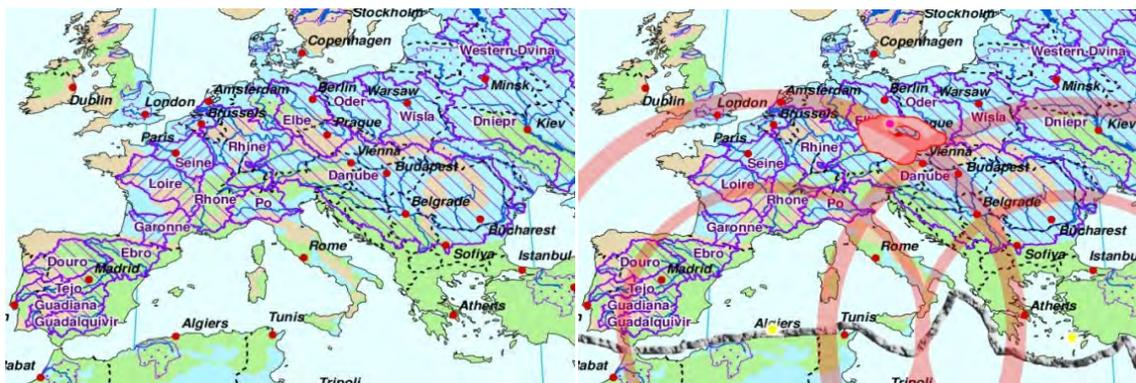


Рис. 1. Катастрофические наводнения в Западной Европе 2013 года и ассоциированные с ними землетрясения (показаны на географической карте).

Желтые метки – эпицентры землетрясений; полупрозрачные розовые окружности – распространяющиеся (для простоты – изотропно) сейсмические волны; розовые области с красным контуром – потенциально опасные зоны возникновения наводнений; красные метки – зафиксированные места катастрофических наводнений вблизи выбранных городов. Границы литосферных плит отмечены черной линией. Слева приведена территория речного бассейна с дислокацией подземных вод (включая, и за его пределами – отмечено разными штриховками); цвет заливки указывает глубины залегания подземных вод в разных районах.

Подобный экспресс-анализ может быть полезен для первичного сужения зоны поиска потенциально опасных районов в многоэтапной схеме установления общих закономерностей. Действительно, каталог только сильных землетрясений магнитудой более 6, произошедших с 1900 по 2009 гг., включает в себя около 20000 событий и еще больше – по настоящее время [International Seismological Centre, интернет-ресурс]. Аналогичная ситуация имеет место и для наводнений [Воробьев и др., 2003; Данилов-Данильян и др., 2014; Котляков и др., 2012]. Поэтому такое разрежение больших баз данных по коррелированным событиям необходимо.

С учетом этого остановимся на рамочном анализе влияния сейсмической активности на выход подземных вод при произошедших катастрофических наводнениях. Его проведем на примере ряда событий 2013-2014 гг.

1. Наводнение 12-15 сентября 2013 г., округ Боулдер (Колорадо, США). Происходили затяжные ливневые дожди – всего выпало 430 мм осадков. При этом рост расхода воды в р. Боулдер (это, по сути – ручей) составил с  $5 \text{ м}^3/\text{с}$  до  $140 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Землетрясения, которые можно ассоциировать с этим событием, сводятся к следующим (в скобках – указана магнитуда): (4,2), север Калифорнии, 27.08.2013 г.; (4,3), север Мексики, 28.08.2013 г.; (4,5), восток Техаса, 02.09.2013 г.

2. Наводнение 3-4 сентября 2013 г., средняя часть р. Амур (Россия). Наиболее интенсивные осадки случились 13-15 августа – с интенсивностью  $\sim 50 \text{ мм/день}$ . При этом расход воды в р. Амур возрос с 20 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$  до уровня 46 тыс.  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Землетрясения, которые мы считаем возможным указать: магнитуды (5,0; 4,4; 2,9),

о. Сахалин, соответственно по датам 04.07.09 июля 2013 г.; (5,9), Камчатка, 17-18.07.2013 г.; (6,9), Тихоокеанское побережье Японии, 04.09.2013 г.

Здесь стоит также отметить другую возможную причину – вулканическую активность на Камчатке, лето 2013 г. (Ключевская сопка, Шивелуч).

3. Наводнение в конце мая – начале июня 2013 г., Западная Европа (в бассейне рек Дунай, Эльба, Рейн и др.). Уровень воды поднялся на 7-13 м, и за 2-4 дня выпала

ла двухмесячная норма осадков: 04.06.2013 г. – Австрия, 170-220 мм; 07.06.2013 г. – Германия, 150-180 мм, объем воды 23 км<sup>3</sup>. Для сравнения: в Черном море объем воды оценивается значением ~ 500 тыс. км<sup>3</sup>, а речной сток в год – порядка 350 тыс. км<sup>3</sup>.

Землетрясения: (5,0) на Юго-западе Турции, 16.05.2013 г.; (5,1) северное побережье Алжира, 19.05.2013 г.

Интересно отметить, что в Москве и Московской обл. (г. Кашира) в сентябре 2013 г., выпало, соответственно, больше 180 мм (что в 3 раза больше нормы), и 277 мм (что в 5 раз больше нормы), но никакого катастрофического наводнения не произошло.

Фиксация потенциально опасных зон (в аспекте вероятности возникновения наводнений) в условиях влияния сейсмического фактора проводилась нами по определенной процедуре на примере отмеченных выше катастрофических наводнений. Для краткости это показано только для Западной Европы, май-июнь 2013 г. (рис. 1).

### Заключение

При выходе подземных вод на земную поверхность их дальнейшее распространение можно описывать в рамках нелинейной гидродинамики в условиях рельефа конкретной территории, что и определяет разные режимы, в том числе солитонные, движения разрушительных водных потоков [Скотт, 2007; Трифонова и др., 2014].

Комплексное влияние разных причин на конкретные катастрофические наводнения требует выполнения условия, чтобы «сошлось» много факторов, а это происходит редко. Возможно, поэтому такие исключительные катастрофические события как наводнения в г. Крымск (6-7 июля 2012 г.) и/или в Приамурье (лето – осень 2013 г.) специалистами оцениваются как явления, происходящие раз в десятилетия или даже в сотни лет [Данилов-Данильян и др., 2014; Котляков и др., 2012].

Возможно, в описанных процессах, тесно связанных с сейсмичностью, значительную роль играют и другие факторы. Описанные явления полностью подпадают под закономерность, выраженную в факте (цитата) «дистанционного влияния необратимых процессов на состояние вещества сложных систем, вплоть до изменений свойств вещества и протекающих в нем явлений». Это утверждение астрофизика Н. А. Козырева говорит о том, что дальнейшие исследования в этой области могут быть нацелены на поиск закономерностей, связывающих необычные, экстремальные, явления, происходящие в гидросфере, с астрособытиями [Козырев, 1991].

Выражаем искреннюю благодарность А. В. Николаеву и Е. А. Рогожину за конструктивную критику, дискуссию и ценные замечания, которые привели к существенной корректировке текста статьи.

Научная публикация подготовлена в рамках Государственного задания ВлГУ № 16.1123.2017/ПЧ, а также при поддержке РФФИ (грант № 16-41-330032 р\_а).

### Литература

1. Вартанян Г. С., Башляков В. И., Волейшо В. О., Прупис В. Н. Гидродинамическая реакция водоносного горизонта на изменение напряженного состояния // Советская геология. – 1987. – № 7. – С. 54–58.

2. Варганян Г. С. Гидродрогеодеформационные поля в исследовании механизмов геодинамики // Отечественная геология. – 1995. – № 4. – С. 29–37.
3. Вести.Ru: Из-за обмеления Лены в Иркутской области ввели режим ЧС. <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1126919>.
4. Волейшо О. В. Микроуровнеметрия подземных вод // Разведка и охрана подземных вод. – 1984. – № 12. – С. 43–48.
5. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы. – М.: ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 2003. – 352 с.
6. Гольдин С. В. Деструкция литосферы и физическая мезомеханика // Физическая мезомеханика. – 2002. – Т. 5. № 5. – С. 5–22.
7. Данилов-Данильян В. И., Гельфан А. Н. и др. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценки повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. № 2. – С. 111–122.
8. Зверев В. П. Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии. – М.: Научный мир, 2011. – 260 с.
9. Игумнов В. А., Степанян З. Г. Некоторые гидрогеохимические аспекты Спитакского землетрясения // Известия АН Арм. ССР. Науки о Земле. – 1989. – XLII. № 3. – С. 24–34.
10. Кирюхин А. В. Кирюхин В. А., Манухин Ю. Ф. Гидрогеология вулканогенов. – СПб.: Наука, 2010. – 396 с.
11. Киссин И. Г. Флюиды в земной коре: Геофизические и тектонические аспекты. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Наука, 2015. – 328 с.
12. Козырев Н. А. Избранные труды. Л.: Изд. ЛГУ, 1991. – С. 431.
13. Константинова Т. Г., Пинегина Т. К. Разжижение грунтов при сейсмических событиях в условиях Камчатки. <http://www.kscnet.ru/ivs/bibl/sotrudn/stpineg/7.pdf>.
14. Копылова Г. Н. Изменения уровня воды в скважинах под влиянием землетрясений // Вестник КРАУНЦ. Серия наук о Земле. – 2005. – № 5. – С. 113–126.
15. Копылова Г. Н. Сейсмичность как фактор формирования режима подземных вод // Вестник КРАУНЦ. Серия науки о Земле. – 2006. – № 1. Вып. № 7. – С. 50–66.
16. Копылова Г. Н. О связи режима подземных вод с сейсмичностью и деформациями земной коры на стадиях подготовки сильных землетрясений // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 7. – С. 37–45.
17. Котляков В. М., Денисов Л. В., Долгов С. В. и др. Наводнение 6-7 июля 2012 года в городе Крымске // Изв. РАН, сер. Географическая. – 2012. – № 6. – С. 80–88.
18. Леонов М. Г. Тектоника консолидированной коры. – М.: Наука, 2008. – 457 с.
19. Лысенко М. П. Состав и физико-механические свойства грунтов. – М.: Недра, 1972. – 320 с.
20. Лямаев Б. Ф. Гидроструйные насосы и установки. – Л.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
21. Николаев А. В. Сейсмические свойства грунтов/Акад. наук СССР. Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М.: Наука, 1965. – 184 с.
22. Николаев А. В. Сейсмика неоднородных и мутных сред/АН СССР. Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М.: Недра, 1973. – 174 с.
23. Николаев А. В., Алексеев А. С., Цибульчик Г. М., Троян В. Н., Рыжиков Г. А., Яновская Т. Б., Сурнев В. Б. Проблемы геотомографии: Государственная научно-техническая программа России «Глобальные изменения природной среды и клима-

та»: сборник научных трудов/Российская академия наук, Объединенный институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта, Институт экспериментальной геофизики. – М.: Наука, 1997. – 335 с.

24. Осика Д.Г., Черкашин В.И. Энергетика и флюидодинамика сейсмичности. – М.: Наука, 2008. – 244 с.

25. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология/Отв. редактор Е. В. Пиннекер. – Новосибирск: Наука, 1980. – 225 с.

26. Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах./Отв. редактор Е. В. Пиннекер. – Новосибирск: Наука, 1982. – 239 с.

27. Павленко О.В. Сейсмические волны в грунтовых слоях: нелинейное поведение грунта при сильных землетрясениях последних лет. – М.: Научный мир, 2009. – 260 с.

28. Подземные воды Мира: ресурсы, использование, прогнозы/Под ред. Зекцера И.С. – М.: Наука, 2007. – 438 с.

29. Рац М.В., Чернышов С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. – М.: Недра, 1970. – 164 с.

30. Росводресурсы: водохранилище смягчило удар стихии по Крымску. – Новости Событий. – Новости Mail.Ru. <http://news.mail.ru/inregions/south/23/incident/9576012>.

31. Скотт Э. Нелинейная наука. Рождение и развитие когерентных структур/Пер. с англ. И. А. Макарова под ред. проф. А. Л. Фрадкова. – Н: Физматлит, 2007. – 560 с.

32. Соколовский М. А., Веррон Ж. Динамика вихревых структур в стратифицированной вращающейся жидкости. – Иж: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. – 372 с.

33. Трифонова Т.А. Горное речное русло: энергетическая модель развития // Докл. РАН. – 1994. – Т. 337. №3. – С. 334-338.

34. Трифонова Т.А. Энергетическая модель развития горного русла // Геоморфология. – 1995. №4. – С. 13-22.

35. Трифонова Т.А. Речной водосборный бассейн как самоорганизующаяся природная геосистема // Изв. РАН, серия географическая. – 2008. – № 1. – С. 28-36.

36. Трифонова Т.А., Акимов В.А., Абрахин С.И., Аракелян С.М., Прокошев В.Г./Основы моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Комплексный анализ развития фундаментальных природных процессов в земной коре с использованием современных математических методов и информационных технологий. – МЧС России. – М.: ФГБОУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014. – 436 с.

37. Фисун Н.В., Ленченко Н.Н. Динамика подземных вод. Краткий курс лекций и лабораторный практикум. – М.: Научный мир, 2016, – 268 с.

38. Флюиды и геодинамика // Материалы Всероссийского симпозиума «Глубинные флюиды и геодинамика» (Москва, 19-21 ноября, 2003 г.) – М.: Наука, 2006. – 283 с.

39. Хуторской М.Д., Зволинский В.П., Рассказов А.А. Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф. – М.: Изд-во РУДН, 1999. – 222 с.

40. Шаров Н.В. Литосфера Балтийского щита по сейсмическим данным. – Апатиты: КНЦРАН, 1993. – 145 с.

41. Bondevik S., Gjevik B., Sorensen M.B. Norwegian seiches from the giant

2011Tohoku earthquake // Geophysical Research Letters. V.40. №13. P. 3374-3378; Hydrologic Response in Well 27F2 SOW 019 to Worldwide Earthquakes: NEAR THE EAST COAST OF HONSHU, JAPAN, Mar 11, 2011, M9,0 earthquake. <http://va.water.usgs.gov/earthquakes/20110311a.html>.

42. International Seismological Centre. <http://www.isc.ac.uk>; GEOFON Program GFZ Potsdam: GEOFON Main page. <http://geofon.gfz-potsdam.de/>.

43. Jaeger H. M., Nagel S. R. La physique de l'état granulaire // Recherché. – 1992. – Vol. 23. – P. 1380-1387.

44. Jakob M., Hungr O. Debris-flow. Hazards and Related Phenomena. Springer, 2005, 745p.

45. Trifonova T.A., Arakelian M.M., Arakelian S.M., Trifonov D.V., Tulenev N.Y. Surface water, groundwater and unified 3D-crack network as a triple coupling dynamic system for a river watershed functioning – manifestation in catastrophic floods// European Geosciences Union General Assembly 2014. – Vienna, Austria. – 2014.

46. Virginia Groundwater Response to Guatemalan Earthquake. – 2012 – YouTube. <http://www.youtube.com/watch?v=wJ-JqXQ4EPw&feature=youtu.be>.

DOI: 10.23671/VNC.2017.2.9490

## **DYNAMICS OF GROUNDWATER BASIN FUNCTIONING – A POSSIBLE MANIFESTATION OF THE CATASTROPHIC FLOODS**

© 2017 V.N. Koneshov<sup>1</sup>, Sc. Doctor (Tech.), T.A. Trifonova<sup>2</sup>, Sc. Doctor (Biol.), D.V. Trifonov<sup>3</sup>, S.M. Arakelyan<sup>3</sup>, Sc. Doctor (Phys.-Math.), prof.

<sup>1</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Russia, 123995, Moscow, Bolshaya Gruzinskaya Str., 10-1;

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Russia, 119991, 1, Moscow, Leninskie Gory;

<sup>3</sup>Vladimir State University named after A. and N. Stoletovs, Russia, 600000, Vladimir, Gorky Str., 87, e-mail: [arak@vlsu.ru](mailto:arak@vlsu.ru)

Possible influence of tectonic stresses on the occurrence of catastrophic floods by the mechanism of modification of the 3D-cracknet of the rock formations and the transit of the groundwater in this natural transport system in the conditions of functioning of the river catchment basin is discussed. Several floods (not freshets) took place in 2013-2014, which probably could be associated with corresponding seismic processes in the earth's crust, are considered. In the practical aspect proposed hypothesis can be useful during the preliminary definition of potentially dangerous areas for catastrophic water events taking into account the interference of the state of the underground hydrosphere and the tectonic structure of the rheological section of bowels of the earth on the concrete territories.

**Keywords:** river basin, groundwater, surface water, seismic processes, catastrophic floods.