

О возможных геолого-геофизических рисках и перспективах Чернобыльской зоны отчуждения

© В.М. Шестопапов, 2016

Научно-инженерный центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 25 января 2016 г.

Представлено членом редколлегии В.И. Старостенко

Розглянуто свідощтва потенційного негативного впливу локальних западинних (мікрогеодинамічних) зон на безпеку АЕС. Установлено наявність западинних форм на проммайданчику Чорнобильської АЕС, включаючи майданчик будівництва нового безпечного конфайнменту. Показано, що природа зон і характер їх впливу визначаються розломними структурами і сполученими процесами глибинної дегазації надр, які не можуть бути виявлені і вивчені традиційними методами інженерно-пошукових робіт при виборі майданчика АЕС. Висунуто припущення про те, що істотні і не досліджені до теперішнього часу ризики для ядерних об'єктів пов'язані з імовірними виходами глибинного водню, який проникає на поверхню по підзападинних каналах. Запропоновано підходи до дослідження системи западина — підзападинний канал на проммайданчиках ЧАЕС та інших АЕС. Розглянуто перспективи пошуку скупчень водню як ефективного енергетичного ресурсу.

Ключові слова: проммайданчик ЧАЕС, новий безпечний конфайнмент, дегація надр, система западина — підзападинний канал, землетрус, плазмод, вибух водню, водневий енергетичний ресурс.

Введение. Обычно при проектировании и выполнении работ по обоснованию строительства ответственных объектов, включая крупные промышленные предприятия, АЭС и другие, основное внимание уделяется инженерно-геологическому изучению площадки будущего строительства на сравнительно небольших глубинах (метры — десятки метров). Основой такого изучения являются инженерно-геологические скважины, задаваемые по определенной сетке. Представления о глубинном геологическом строении обычно заимствуются из результатов общего геологического картирования (преимущественно масштаба 1 : 200 000), которое, как правило, не отражает геологическую специфику конкретной территории.

На особенности микрорельефа и возможные проявления микрогеодинамических процессов серьезное внимание в основном не обращается. Считается, что выравнивание площадки перед строительством с возможной досыпкой или намывом и последующим уплотнением грунта в достаточной мере нивелирует исходную не-

однородность естественных оснований и практически нейтрализует возможные экзогенные геологические процессы. Именно таким образом осуществлялось проектирование и строительство Чернобыльской атомной станции (ЧАЭС).

Проблема, однако, заключается в том, что многие проявления на первый взгляд экзогенных процессов на самом деле имеют глубинную природу. В результате применяемыми ныне инженерными ухищрениями нейтрализовать их нельзя. А минимизировать риски от их воздействий, порою весьма опасных, можно лишь глубоко познав природу, структуру и режим функционирования.

Обычно геодинамическую активность недр увязывают с разломными зонами, отдельными разломами и активной трещиноватостью консолидированных пород земной коры. Классическим примером такой активной зоны служит разлом Сан-Андреас на западе США. Но геологи-практики могут назвать многие десятки разломов на всех континентах, проявляющих современную геодинамическую активность, иног-

да достаточно опасную для промышленной и жизнеобеспечивающей инфраструктуры.

Проблема учета таких зон, понятная в целом теоретически, требует тем не менее тщательных комплексных исследований в каждом конкретном случае и до сих пор далека от гарантированного разрешения.

Еще меньше понимания демонстрируется при рассмотрении и оценке необходимости серьезного комплексного изучения локальных, часто весьма опасных, микрогеодинамических зон — западин¹. Быгующие до последнего времени представления об их исключительно экзогенном происхождении и развитии в проверенных случаях опровергаются обнаружением глубинных корней и особенностями их функционирования.

Покажем эту предполагаемую опасность в комплексе с сопутствующими геофизическими процессами на примере атомных станций.

Западинные формы и дегазация недр (анализ литературных данных). Предварительно следует отметить, что на дне морей и океанов в огромном количестве были открыты западины или rockmarks (рис. 1). Наряду с экзотическими надуманными версиями их природу стали увязывать в основном с восходящими потоками газонасыщенных флюидов, прорывающих под избыточным давлением перекрывающую осадочную толщу и извергающих на морское дно газо-водно-грязевую смесь. Такие извержения происходят либо в виде взрыва, либо в виде более спокойного пульсирующего напорного потока [Çitçi et al., 2003; Pilcher, Ardent, 2007; Moss, 2010]. Скопление в молодых морских осадках большого количества органики, уплотнение этих отложений новыми осадками, а также результаты изотопных определений углерода в газовых компонентах (в основном в виде метана) восходящих флюидов указывают на то, что углеводороды имеют два источника происхождения — органическое вещество осадочных отложений и глубинную абиотическую составляющую.

Во многих случаях о "глубинности" газовой фазы флюидов свидетельствует наличие примесей водорода и гелия. Восходящее движение этих флюидов с больших глубин подтверждается и данными сейсмического профилирования, которые четко обнаруживают подводящие

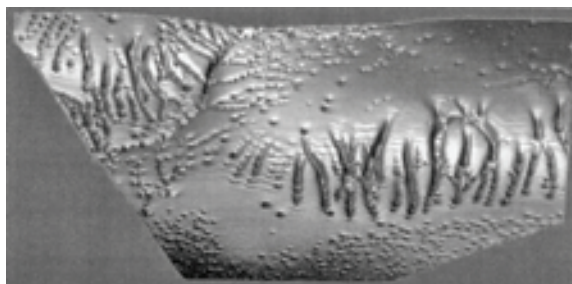


Рис. 1. Трехмерная визуализация строения поверхности морского дна у побережья Западной Африки [Pilcher, Ardent, 2007]. Видны поля и цепочки западин на континентальном склоне.

к западинам вертикальные или субвертикальные каналы (chimney или pipes) [Шестопалов, Макаренко, 2013]. Правда, протяженность этих каналов весьма различна — от нескольких сотен метров до нескольких километров (рис. 2). Весьма вероятно, что во многих случаях установленные глубины этих каналов характеризуют не истинную их протяженность, а возможную глубину метода обнаружения. Во всяком случае, имеющиеся данные интерпретируются многими исследователями (см., например, [Moss, 2010]) как многоэтажная напорная система флюидов, состоящая из напорных латеральных горизонтов и соединяющих их вертикальных труб, которые ступенчато распространяются от больших глубин до выходов западин на морское дно. Наряду с этим зафиксированные в отдельных случаях весьма глубокие каналы, отходящие от глубинных разломов, свидетельствуют о нижнекоревых и подкоревых источниках флюидов и их газовых компонентов. В целом же, можно предположить, что соотношение между органическим углеводородом, поступающим с относительно небольших глубин, и абиотическим глубинным углеводородом зависит от многих факторов и может варьировать в значительных пределах. Поэтому более детальное выявление этого соотношения требует тщательного комплексного изучения в каждом конкретном случае.

Важность оценки этого соотношения определяется не только целесообразностью выявления фундаментальных закономерностей формирования газосодержащих флюидов, но и практическими соображениями. Можно предположить, что в геодинамически активных зонах, при прочих равных условиях, существуют повышенные риски формирования аномально высоких давлений глубинного газа, формирующего каналы с наиболее опасными взрывными прорывами флюидов на морское дно [Moss, 2010].

¹ Западина — мелкое замкнутое понижение в рельефе, обычно округлой, овальной, иногда более сложной формы. Разновидности названий западин — блюдца, поды. Обычные размеры западин: диаметр или максимальное значение по длинной оси — от десятков метров до 3 км, глубины — от 1—2 м до первых десятков метров.

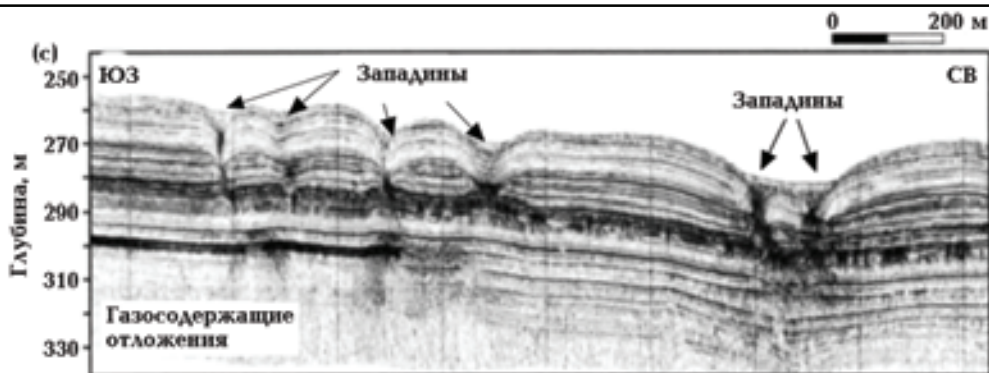


Рис. 2. Западины в турецкой части дна Черного моря [Çifçi et al., 2003].

Западины на суше также распространены весьма широко. Они характерны для равнинных территорий и по имеющимся у нас данным связаны с разломно-трещинной сетью консолидированных пород земной коры. Эта связь прослеживается с разной степенью уверенности. При неглубоком залегании скальных и полускальных пород, а также на участках геодинамической активизации связь западин с разломно-трещинной системой проявляется более четко, чем в районах распространения мощной покровной толщи рыхлых и геодинамически пассивных пород [Shestopalov et al., 2015].

Глубинная природа западин на суше изучалась в России, Украине и США.

В России этой проблемой успешно занимается группа В.Н. и Н.В. Лариных [Ларин, 2010; Ларин и др., 2010; Larin et al., 2015]. Особое внимание обращается на выходы глубинного водорода на поверхность. Изучены значительные территории Липецкой, Волгоградской, Тверской, Московской и других областей. Установлено, что дегазация глубинного водорода широко проявляется на Восточно-Европейской платформе. В зонах интенсивной дегазации водорода на поверхности образуются структуры проседания диаметром до 3 км, прорывные карстовые полости и взрывные воронки.

Западины-проседания в большом количестве прослеживаются практически на всех равнинных территориях. Наличие у них глубинных корней подтверждается этой группой определениями водорода, концентрация которого увеличивается с глубиной. Кроме того, А.В. Горбатовым и Н.В. Лариными [Ларин и др., 2010] выполнено микросейсмическое зондирование, которое позволило обнаружить под одной из западин канал с повышенной проницаемостью. Диаметр канала составляет 350 м, а глубина — до 7 км. По этому каналу происходит выход в

атмосферу газовой фазы с содержанием водорода около 1,6 % (рис. 3).

Наиболее настораживающими являются взрывные образования. Весьма показателен взрыв мощностью около 30 т тротила, произошедший в 1991 г. вблизи г. Сасово Рязанской области. Характер воздействия этого взрыва оказался объемно-ва-

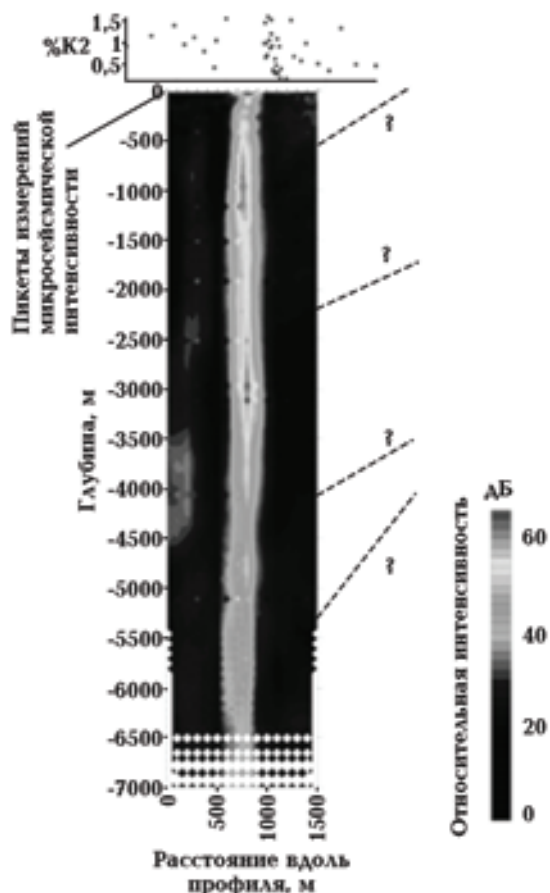


Рис. 3. Результаты исследований подзападинного канала дегазации (пос. Жилино, Московская обл., 2008) [Ларин и др., 2010].

кумным, что подтверждает, по мнению Лариных, его водородную природу. Известно, что поступление водорода в воздух в объемах 4 % и более приводит к образованию весьма взрывоопасной смеси — “гремучего газа”.

С 4 по 18 марта 1999 г. вначале вблизи с. Ушаково Курской области, а затем по прямой линии с интервалом 5—7 км в направлении Курской АЭС (КАЭС) произошло в общей сложности 10 взрывов. Взрывы сопровождалась выбросом почвы (с образованием воронок диаметром до 40 м и глубиной до 8 м), возникновением огненных столбов и столбов пара, а также вытеканием воды и грязи [Портнов, 2014]. Одна из воронок образовалась всего в 20 км от КАЭС. Учитывая характер расположения воронок и особенности взрывов, было сделано предположение о том, что по глубинной периодически дегазирующей разломной зоне, в пределах которой расположена КАЭС, произошел выброс горючей метано-водородной смеси.

В течение 2013—2015 гг. на севере Сибири обнаружено несколько кратеров, образовавшихся в результате взрывов, вероятно, смеси газов — метана и водорода. Глубина кратеров до 60 м

(рис. 4). Наблюдениями установлено, что постепенно стенки кратеров обваливаются и выколаживаются. В результате заполненные водой кратеры превращаются в озера, подобные широко распространенным в этой местности. Часть таких озер продолжает дегазировать.

Результаты исследований западин в Украине [Водообмен ..., 2001; Пристер и др., 2013; Shestopalov et al., 2015] также подтвердили их аномальную природу.

Во-первых, структура, текстура и вещественный состав отложений в верхней части геологического разреза западин обладают аномальными чертами по сравнению с фоновыми участками. Во-вторых, в западинах обнаружены аномалии радона и торона, приуроченные к наиболее проницаемым их частям. В-третьих, геофизическими методами (в зависимости от их разрешающей способности) выявлены подзападинные каналы глубиной от 50 до 400 м.

В США дегазация водорода обнаружена в пределах территории Каролина Бейс, характеризующейся распространением в огромных количествах западиноподобных образований [Zgonnik et al., 2015].



Рис. 4. Взрывной кратер на полуострове Ямал.

Одной из самых важных практических проблем западин является сложность определения степени их опасности для крупных промышленных объектов и коммуникаций. Группой Ларинных была изучена ситуация в районе Калининской АЭС, расположенной в 120 км от г. Тверь [Ларин, Ларин, 2012]. Вблизи действующей станции (4-й блок ВВЭР-1000) намечается строительство еще четырех реакторов. И рядом со станцией, и в местах будущего строительства измеренные концентрации водорода в почвенном газе изменялись от 0 до 1450 ppm. По мнению авторов (исходя из накопленного ими опыта), с изменением времени и глубины отбора проб концентрации водорода могут возрасти в несколько раз. Авторы рассмотрели, к чему могут приводить такие концентрации водорода при наличии в основании сооружений карбонатных и глинистых пород.

Восходящий в карбонатные отложения водородный поток вступает во взаимодействие со свободным и химически связанным кислородом (например, в оксидах железа и др.) и образует воду. Образовавшаяся вода подкисляется сопутствующими восходящими компонентами (S, Cl, F) и становится весьма агрессивной по отношению к карбонатам. В результате происходит интенсивный процесс эндогенного карстообразования, который может приводить к аварийным ситуациям. Было также установлено, что наличие глинистых слоев, якобы препятствующих активному вертикальному водообмену и тем самым защищающих несущие карбонатные породы от карстообразования, при подъеме глубинного водородного потока не выполняет водоупорную функцию.

В глинистых разрезах обнаружены участки с многочисленными карбонат-цеолитовыми прожилками и каналцами, пронизанными щелями. Консистенция глин в этих местах изменена до хрупкого (аргиллитоподобного), весьма проницаемого состояния. Таким образом, предположения о практической неподверженности активному карстообразованию карбонатных пород в основании Калининской АЭС весьма далеки от реалий. Игнорирование "водородного фактора" может привести к серьезным негативным последствиям.

По результатам упомянутых выше предварительных исследований 6 августа 2015 г. в АО ВНИИАЭС состоялось совещание на тему "Возможные опасные явления в свете водородной дегазации Земли". На совещании присутствовали первый заместитель генерального директора АО ВНИИАЭС, директор ВНИИАЭС

— НТП А. Н. Лупишко, научный руководитель эксплуатации АЭС Л. М. Воронин и др. Докладчик Н. В. Ларин (Институт физики Земли РАН) сообщил о результатах исследований дегазации и рисках, связанных с этими процессами. Было принято решение провести оперативные исследования в первую очередь в районе Калининской АЭС. В сентябре 2015 г. на восьми пикетах в пределах территории, непосредственно прилегающей к площадке Калининской АЭС, была определена концентрация газов (водорода, метана, углекислого газа, кислорода) в почвенном слое пород зоны аэрации. Всего было отобрано 65 проб различными газоанализаторами из 36 скважин глубиной 1,2 м. В нескольких скважинах на двух пикетах были обнаружены опасные концентрации водорода. В результате проведенного исследования было рекомендовано:

- продолжить наблюдение выходов на двух выявленных аномальных пикетах;
- провести газогеохимическое обследование непосредственно на территории Калининской АЭС "с целью определения мест с повышенной концентрацией газов, которые могут создать неблагоприятные условия эксплуатации отдельных инженерных систем и станции в целом".

Сейсмогеодинамические аспекты аварии на ЧАЭС. Настораживающие результаты исследований получены по району Чернобыльской АЭС. Прежде всего необходимо обратить внимание на особенности природно-техногенной обстановки вблизи ЧАЭС до начала, во время и после аварии 1986 г.

В. Г. Васильев [Васильев, 2006] собрал данные о фактических событиях на станции и вокруг нее, полученные из различных источников (Институт физики Земли РАН, Институт геофизики НАН Украины), свидетельства работников станции, специалистов [Киселев, Чечеров, 2001; Горбачев, 2005], материалы к докладу МАГАТЭ и др.

В результате анализа материалов В. Г. Васильев обращает внимание на следующие аспекты.

1. Промплощадка ЧАЭС расположена вблизи пересечения крупных глубинных разломов — Южно-Припятского и Тетеревского.

2. В регионе в 1980—1990-х годах наблюдалась активизация сейсмостектонических процессов. Активизация проявлялась в виде многочисленных землетрясений с местными очагами: в 1978 и 1983 г. в Минской обл., в 1986 г. и несколько в 1996 г. вблизи ЧАЭС, в 1986 и 1991 г. в Киеве. Наблюдались также специфические геодинамические нарушения в технических си-

стемах: смещение фундаментной плиты четвертого энергоблока ЧАЭС летом 1985 г.; периодические нарушения балансировки турбогенераторов № 7 и 8 (последнее произошло 17 апреля 1986 г. из-за перекоса фундамента этих турбогенераторов); тяжелая авария со взрывом водорода на неработающем втором блоке ЧАЭС в 1991 г. В последнем случае, как и во время аварии на 4-м блоке в 1986 г., перед взрывом было замечено свечение над реактором.

3. В регионе происходили значительные флуктуации напряжений геофизических полей в земной коре и атмосфере. Флуктуации фиксировались инструментально и проявлялись в виде потерь электроэнергии на линиях электропередач, а также болезненными психофизическими реакциями у людей. С 17 апреля 1986 г. происходили особенно резкие перепады атмосферного давления. Наибольший максимум давления 25 апреля сопровождался резким усилением аварийных ситуаций на транспорте и в электросетях "Киевэнерго".

4. По данным сейсмостанции "Норинск", расположенной в 110 км западнее ЧАЭС, в период с 16 апреля по 8 мая 1986 г. зафиксировано восемь пиков сейсмической активности. При этом максимальное количество сейсмопроявлений (24) произошло с 25 по 26 апреля 1986 г. За 2—3 часа до аварии были слышны "глухие взрывы" в районе г. Чернобыль и пруда-охладителя. За минуту до аварии в центральном зале наблюдалось свечение и подпрыгивание фрагментов биозащиты реактора весом 350 кг. В промежутке 1 ч 23 мин — 1 ч 39 мин на сейсмостанции "Норинск" было отмечено несколько сейсмических сигналов.

В 1 ч 23 мин 54 с происходит отключение электропитания, падение плиты перекрытия в машинном зале, свечение внутри помещения и прорыв голубовато-фиолетового факела наружу на высоту около 70 м. Герметичность контура еще сохранялась. Но в 1 ч 23 мин 59 с появился глухой гул, взмывание огненного факела над 4-м блоком на высоту около 0,5 км и массовое разрушение конструкций этого блока.

На основании детального анализа упомянутых сейсмических событий и особенностей повреждений внутри блока В. Г. Васильев делает вывод о том, что на фоне активизировавшихся сейсмогравитационных процессов главным виновником аварии были все же высокотемпературные "плазмоды" или шаровые молнии. Схожий выход "плазмодов" из недр наблюдался во время землетрясения в 1970 г. в Сочи и в некоторых других случаях.

Шаровые молнии характеризуются колоссальной концентрацией энергии, высокой температурой (от 6000 до 14 000 °С) и кратким временем жизни (10—100 с). По мнению В. Г. Васильева, упомянутые особенности шаровых молний и обусловили избирательное оплавление конструкций и быстрое остывание расплава, соседство возникновения высокотемпературных участков с низкотемпературными (на некоторых из них сохранилась даже покраска), наличие предваряющих взрывов, прожигание нижней плиты на узком участке, струйное прожигание стальных труб в подаппаратном помещении и др.

Результаты наших исследований. Независимо от результатов анализа особенностей аварии, выполненных В. Г. Васильевым и опубликованных в 2006 г., нами по материалам предыдущих геолого-геофизических исследований проведен комплексный анализ геологического строения недр в районе расположения ЧАЭС [Пристер и др., 2012; Shestopalov et al., 2015].

Были установлены существенные отличия, указывающие на более значимую роль геологического основания станции в формировании рисков для ее безопасности.

1. ЧАЭС расположена не вблизи соответствующих разломов, как считал В. Г. Васильев, а непосредственно в пределах зоны Южного прибортового разлома, ограничивающего склон крупнейшей Днепровско-Донецкой впадины с юга (рис. 5).

2. Некоторые межблоковые нарушения этой зоны разломов проходят непосредственно под 4-м блоком ЧАЭС либо в непосредственной близости (рис. 6).

3. Эти нарушения геодинамически активны и в настоящее время. В частности, к ним приурочены западины, которые были выровнены в 1970 г. при подготовке промплощадки к строительству и вновь выявлены по данным аэрофотосъемки в 1986 г. (рис. 7).

4. Анализируя упомянутые выше данные о дегазации недр через системы западин и подзападинных каналов, а также некоторые эффекты разрушений в реакторе, можно сформулировать гипотезу о том, что в период, предшествующий аварии и самой аварии, установленные сейсмогравитационные и предполагаемые ионизационно-электромагнитные ("плазмодные") процессы дополнялись значительными импульсами глубинной дегазации водорода.

Кроме выявленных на промплощадке линейных геодинамических напряжений и активных

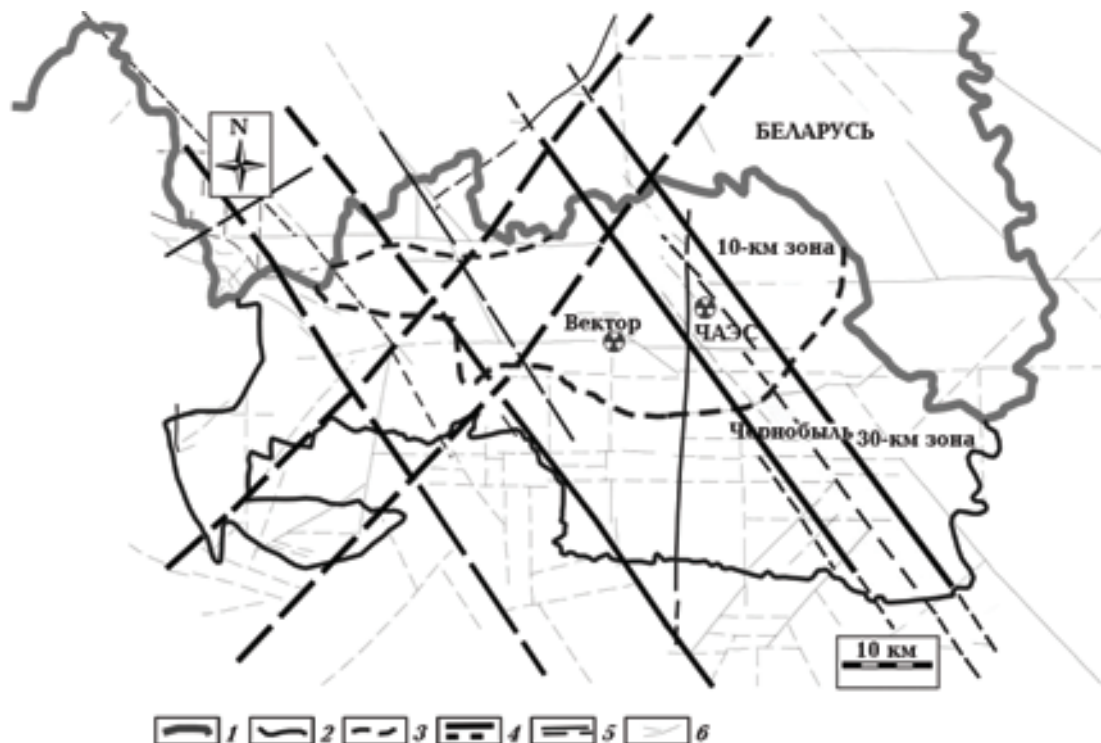


Рис. 5. Тектонические нарушения на территории Чернобыльской зоны отчуждения: 1—3 — границы (1 — Украины, 2 — зоны отчуждения, 3 — 10-километровой зоны), 4—6 — нарушения (4 — региональные, 5 — локальные, 6 — межблоковые).

западин, которые за 16 лет после строительства успели возобновиться, поглотив значительную часть перекрывающих сыпучих пород, привлекает внимание возникновение вначале аварии факелов голубовато-фиолетового пламени над 4-м блоком. Но именно такой эффект наблюдается при горении водорода в воздухе. Отмеченные во время аварии цвета радуги [Васильев, 2006] объясняются тем, что при сгорании водорода в кислороде воздуха образовалась мелкодиспергированная вода, которая предопределила образование радуги.

В этой же связи обращают внимание и отмеченные [Васильев, 2006] разрушения, обусловленные резким падением давления в шахте реактора и центральном зале. В результате смещены колонны железобетонного каркаса деаэрационной этажерки, обрушена легкая кровля. Кроме того, на кровле блоков А и В выявлены раздутые и разорванные внутренним давлением оболочки ТВЭЛ. Все это может происходить при взрыве водорода в воздухе, вызывающем катастрофическое падение давления.

Отметим также, что предположения о водородном взрыве на ЧАЭС 26 апреля 1986 г. как о возможной причине аварии на ее 4-м блоке

высказывались в работах [Ларин, Ларин, 2012; Пристер и др., 2013]. При этом в первой из указанных работ подчеркивается, что световые и звуковые эффекты при взрыве глубинного водорода в Сасове подобны эффектам, которые наблюдались накануне и во время Чернобыльской аварии.

К сожалению, выбору площадки под строительство ЧАЭС не предшествовали детальные геолого-геофизические исследования. Поэтому мы обращались в Европейский банк реконструкции и развития, финансирующий работы на объекте "Укрытие", с обоснованием необходимости детального изучения геолого-геофизической обстановки в районе расположения ЧАЭС. Эти предложения были переданы в группу управления проектом, а там "успешно похоронены".

Но проблема при этом осталась. Более того, после получения дополнительных сведений о масштабной дегазации недр, упомянутых выше, становится очевидным, что она является актуальной и требующей проверки.

Обсуждение результатов наблюдений. Можно по-разному относиться к истолкованию причин аварии на ЧАЭС. К тому же целью этой статьи не является пересмотр сложившейся их

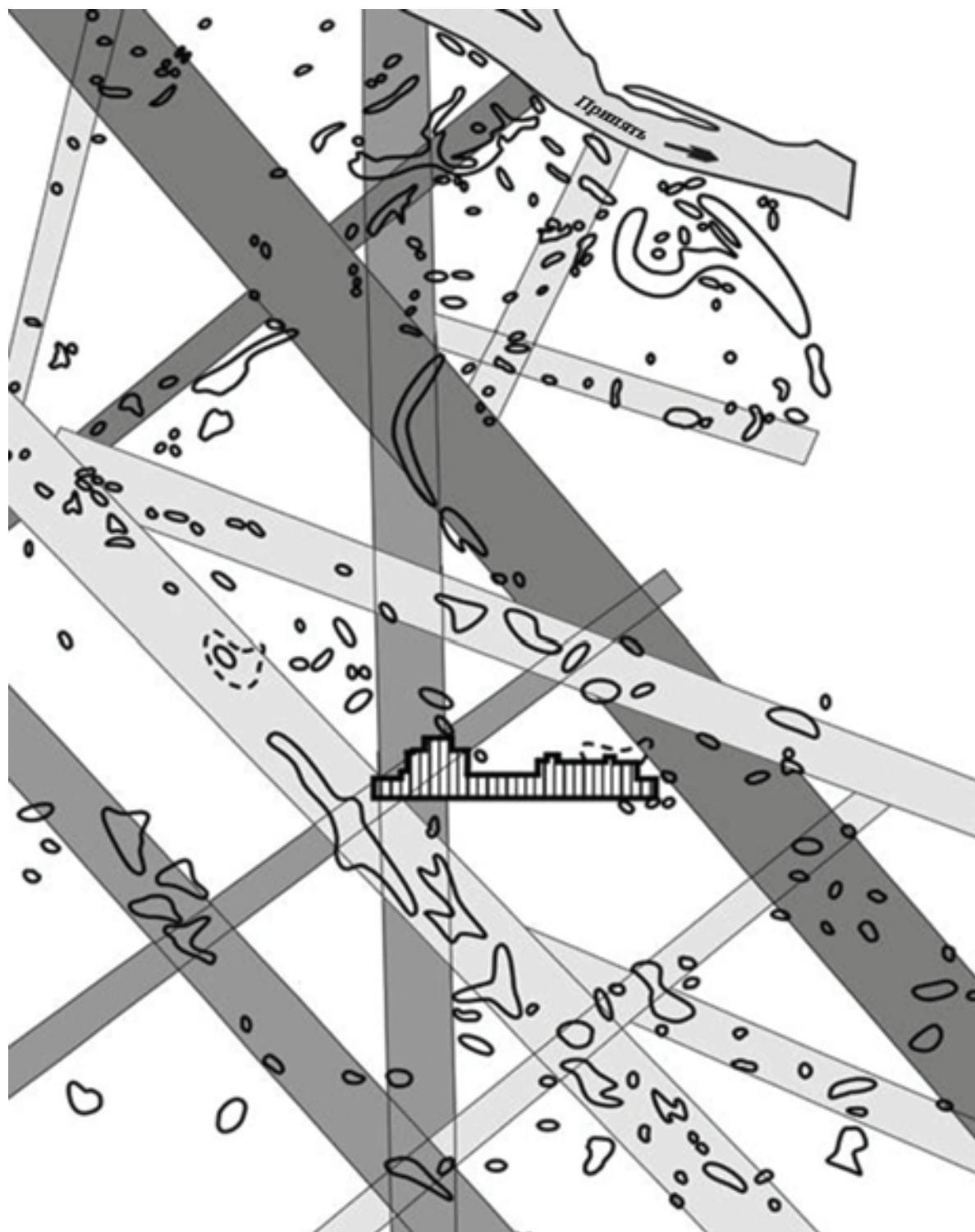


Рис. 6. Геодинамические зоны в районе расположения ЧАЭС. Замкнутыми контурами обозначены западинные образования.

трактовки, которая основана на технических особенностях реакторов РБМК-1000 и роли "человеческого фактора". Мы хотели бы обратить вни-

мание на гипотетические риски промплощадки ЧАЭС, связанные с возможным воздействием малоизученных естественных процессов в



Рис. 7. Активные западины на промплощадке ЧАЭС (обозначены серыми пятнами).

ее геологической среде. Тем более что проектирование нового безопасного конфаймента (НБК) над 4-м блоком ЧАЭС с позиций выявления и оценки этих рисков выполнено крайне неудовлетворительно.

Итак, процессы дегазации недр через систему "западина — подзападинный канал" доказаны в огромном количестве случаев. Хотя подзападинные каналы до сих пор в районе ЧАЭС не изучены, но выявленное нами активное восстановление западин на промплощадке ЧАЭС свидетельствует в пользу наличия таких каналов. Эти каналы демонстрируют способность поглощать не только воду, но и твердые компоненты грунтов в значительных объемах. Наблюдавшаяся в 1980—1890 годах повышенная сейсмичность региона не является чем-то уникальным. Она, безусловно, будет периодически повторяться, приводя как к активизации ионизационно-электромагнитных процессов, так и к усилению дегазации недр. Следовательно, опасность повторения событий, подобных случившимся на 4-м блоке ЧАЭС в 1986 г., остается реальной. Поэтому, будет ли НБК над 4-м блоком действительно безопасным, зависит не только от совершенства проекта и мастерства его выполнения, но и от правильных представлений о процессах в недрах, а также от оценки возможности их предотвращения либо хотя бы

минимизации. Для этого в районе расположения ЧАЭС необходимо выполнить соответствующий комплекс исследований.

В западинах на промплощадке и на некотором расстоянии следует произвести определения выходов газа (водорода, метана, гелия). В специально выбранных западинах целесообразно организовать режимный отбор этих газов, поскольку их концентрации при выходе изменятся в зависимости от времени года и в течение ряда лет. Следует также выполнить специальное сейсмическое профилирование через западины с целью выявления подзападинных каналов. В случае их обнаружения необходимо пробурить контрольные скважины в западине и на фоновых участках и выполнить специальный комплекс исследований.

Проводя эти исследования, необходимо учитывать два вида рисков. Первый из них описан выше и характеризуется взрывными эффектами от возможных "плазмоидов" и глубинного водорода. Второй связан с более спокойным выходом водорода, не приводящим к взрывам, но в результате длительной дегазации и агрессивного воздействия провоцирует ускоренное "охрупчивание" (разрушение) материала фундаментов. Эти воздействия также могут оказаться катастрофическими для нового конфаймента. К сожалению, при проектировании и заклад-

ке фундамента выявление западных форм не проводилось, поэтому степень пораженности грунтов геодинамическими процессами под фундаментом осталась неизвестной.

В случае обнаружения упомянутых процессов необходимо будет разработать и осуществить специальную программу мероприятий по защите нового конгломерата от упомянутых воздействий и обеспечения таким образом его геолого-геофизической безопасности.

О перспективах. Предполагаемые риски, связанные с водородной дегазацией, в случае их подтверждения одновременно открывают перспективы для инновационного использования территории зоны отчуждения.

Водород — не только взрывоопасный и агрессивный газ, но и потенциально эффективный источник энергии. Например, его эффективность в двигателе внутреннего сгорания на 100—200 % выше чем бензина. Именно поэтому передовые автомобильные компании Toyota, Hyundai и другие спешат создавать автомобили с двигателями на водородном или смешанном топливе.

Водород — самый экологический энергоноситель. При его сгорании образуется только вода. Во многих странах (США, Германия, Япония, Франция, Индия и др.) действуют многочисленные программы по разработке различных аспектов водородной энергетики. Составлены амбициозные планы по ее развитию в ближайшие 20—30 лет. Сейчас водород добывается химическим путем из метана, что существенно дороже бензина из расчета на единицу энергии.

Перспективным направлением получения водорода является электролиз воды. Создание новых типов дешевых катализаторов реакции разложения воды на водород и кислород — задача ближайшего будущего. Очевидно, что повышение эффективности энергетических ресурсов и их экологичности — основные стратегические задачи развития энергетики в первой половине XXI в. Перспектива получения чистого водорода непосредственно из недр — еще одна возможность технологического инновационного прорыва в этой области.

Безусловно, здесь много неопределенностей и соответственно нерешенных проблем. Прежде всего, степень рассеянности (концентрации) водорода в недрах, из которой следует возможность прямого отбора, либо необходимости создания специальных условий для его предварительной концентрации на глубине. Выполненные на основе замеров оценки дегазации водорода в некоторых западинах Подмосковья да-

ли результат до 27 тыс. м³ в сутки с поверхности западины. Это означает, что в глубине недр плотность потока водорода может быть гораздо большей.

Известно, что дегазация водорода из недр происходит по трещинным полостям либо трубообразным каналам, состоящим из пород с более высокой проницаемостью, чем в пределах окружающего фона. Компания Petroma пробурела скважину в Мали, из которой подается чистый водород для энергетических потребностей населения. Однако водород часто является лишь одним из компонентов смеси газов. В этих случаях требуется применение специальной технологии для его выделения. Эти и другие проблемы необходимо будет решать.

При выявлении высоких концентраций водорода в недрах зоны отчуждения мы можем перейти к обоснованию возможности его добычи. Наличие в пределах этой территории крупных зон разломов, сетки элементарных разрывных нарушений и подзападных каналов создает предпосылки активной дегазации водорода из недр и повышает перспективы нахождения значительных его скоплений.

Ранее было установлено [Шестопалов, 1999; Шестопалов и др., 2001], что Чернобыльская зона отчуждения обладает очень высокими барьерными свойствами по отношению к мигрирующим радионуклидам. С одной стороны, геологическая среда является основным поглотителем этих радионуклидов (более 80 % мигрирующих радионуклидов ежегодно поглощается недрами). С другой стороны, водозаборы подземных вод в Припяти и Чернобыле, благодаря активной сорбции и удержанию радионуклидов породами, до сих пор подают воду, соответствующую требованиям нормативов. С учетом этого обстоятельства нами была обоснована целесообразность создания геологического глубинного хранилища радиоактивных отходов с точки зрения максимальной безопасности и значительной экономии средств в пределах зоны отчуждения [Изоляция ..., 2006; Проскура и др., 2015]. Международный опыт свидетельствует о том, что выполнение работ по поиску и обоснованию мест создания таких хранилищ требует много времени. Поэтому начинать поисково-разведочные работы необходимо как можно скорее.

Однако с учетом упомянутых выше водородных рисков назначение этих работ может быть двояким. С одной стороны, мы должны искать перспективные участки в недрах с низкой проницаемостью и минимальной нарушенностью

пород для создания подземных хранилищ радиоактивных отходов. С другой стороны, с учетом водородных рисков необходимо попутно изучать проявления водорода на разных глубинах и в разных геологических условиях. В результате этими работами может быть положено начало целевым поискам глубинных ресурсов водорода.

Его получение будет вызывать необходимость разработки и создания системы надежного хранения, безопасной транспортировки и использования. По сути, здесь возникнет полигон для создания новой технологии и распространения ее в другие перспективные регионы страны. Кроме энергетического использования, а также в случае, если объемы добываемого водорода будут недостаточны для энергетических нужд, он может быть направлен на получение белка с помощью водородных бактерий. Экспериментально установлено [Волова и др., 1981], что это весьма эффективный способ получения значительных объемов белка, пригодного для кормления скота и птицы. В результате может быть создана высокопроизводительная кормовая база для интенсивного развития скотоводства и птицеводства на промышленной основе.

Следует также рассмотреть возможность широкого развития в пределах южной малозагрязненной части Зоны отчуждения солнечной и ветровой энергетики, которые бурно развиваются в передовых странах. Для снятия пиков, характерных для этой энергетики, целесообразно оценить эффективность использования теплового насоса.

Таким образом, территория Зоны отчуждения может стать местом возрождения энергетики на новой современной в значительной мере инновационной основе, а также создания условий для инновационного развития животноводства и птицеводства. Вместе с приобретением уникального опыта по закрытию АЭС, переработки радиоактивных отходов, других производств Зона отчуждения может превратиться из зоны опасности, требующей затрат ресурсов, в территорию экономического развития по важным современным направлениям.

Выводы. Анализ результатов опубликованных исследований показал, что значительная

часть микрогеодинамических западных структур является результатом проявления дегазации из недр по системам "западина — подзападинный канал".

1. Интенсивность дегазации различна — от полного затухания до формирования концентраций, которые могут приводить к взрыву глубинного водорода в кислородсодержащем воздухе.
2. Активизация газовыделения провоцируется землетрясениями и может проявиться в опасном комплексе: механические подвижки (соответственно землетрясение) — электромагнитная "плазмодная" активность — газовые выбросы из недр.
3. Даже если газовыделение не сопровождается взрывами (из-за недостаточного количества водорода), аномальные концентрации этого газа способствуют деформации и ускоренному разрушению фундаментов и их грунтовых оснований.
4. Приведенные результаты наблюдений указывают на необходимость проверки в районе промплощадки ЧАЭС:
 - наличия подзападинных каналов;
 - выделения водорода из западин;
 - отличий геолого-газогеологических характеристик западино-канальных зон и фоновых участков.
5. В случае подтверждения наличия систем "западина — газопроводящий канал" необходимо будет разработать и реализовать программу защиты нового безопасного конфайнмента от опасной дегазации и сопутствующих процессов.
6. Приведенная информация (в том числе по российским АЭС) свидетельствует о целесообразности проверки территорий расположения действующих украинских АЭС относительно выделения глубинных газов в опасных концентрациях.
7. Водород приобретает все больший интерес в мире как весьма эффективный энергетический ресурс.
8. Представляется перспективным выполнить попутные геолого-поисковые работы в Чернобыльской зоне отчуждения с целью возможного выявления скопления в недрах водорода, имеющего практическое значение.

Список литературы

- Васильев В. Г. Катастрофа Чернобыльской АЭС. Приближение к истине. Москва: Белые альвы, 2006. 111 с.
- Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в гидрогеологических структурах и Чернобыльская катастрофа. Гл. ред. В. М. Шестопалов. Киев: Изд. ИГН, НИЦ РПИ НАН Украины, 2001. 631 с.
- Волова Т. Г., Окладников Ю. Н., Сидько Ф. Я., Терсков И. А., Трубочев И. Н., Федорова Я. В. Производство белка на водороде. Новосибирск: Наука, 1981. 275 с.
- Горбачев Б. И. Когда на самом деле взорвался реактор в Чернобыле? Дополнительные доказательства. *Бюллетень по атомной энергии*. 2005. № 4. С. 48—50.
- Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения). Гл. ред. В. М. Шестопалов. Киев: Изд. НИЦ РПИ НАНУ, 2006. 398 с.
- Киселев А. Н., Чечеров К. П. Процесс разрушения реактора Чернобыльской АЭС. *Бюллетень по атомной энергии*. 2001. № 10. С. 20—25.
- Ларин В. Н. Обнаружена дегазация водорода в центральных районах Русской платформы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hydrogen-future.com/list-c-phenomen/2-page-id-6.html>. Дата обращения 26.02.2010.
- Ларин В. Н., Ларин Н. В. Проблемы атомной станции в свете водородной дегазации Земли. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hydrogen-future.com/en/geologiya-i-geopolitika-en/44-problems-of-nuclear-plants.html>. Дата обращения 2.12.2012.
- Ларин Н. В., Ларин В. Н., Горбатиков А. В. Кольцевые структуры, обусловленные глубинными потоками водорода: Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. *Материалы Всерос. конф., 18—22 окт. 2010 г.* Москва: ГЕОС, 2010. 712 с.
- Портнов А. М. Опасные дыры Земли. *Природа*. 2014. № 4. С. 94—96.
- Пристер Б. С., Ключников А. А., Шестопалов В. М., Кухарь В. П. Проблемы безопасности атомной энергетики: Уроки Чернобыля. Чернобыль: Изд. Ин-та проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2013. 199 с.
- Проскура Н. И., Шестопалов В. М., Зинкевич Л. И., Шибецкий Ю. А., Алексеева З. М., Жебровская Е. М. Оценка эффективности внедрения в Украине новой схемы классификации радиоактивных отходов. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2015. № 1 (65). С. 34—40.
- Шестопалов В. М. Радіоактивне забруднення і бар'єрні функції геологічного середовища в Зоні відчуження. *Бюлетень екологічного стану зони відчуження та зони обов'язкового відселення*. 1999. № 15. С. 25—27.
- Шестопалов В. М., Кашпаров В. А., Иванов Ю. А., Багдевич И. М. Пути миграции "чернобыльских" радионуклидов в наземных ландшафтах. *Материалы Междунар. конф. "Пятнацать лет Чернобыльской катастрофы. Опыт преодоления"*. Киев, 2001. С. 96—118.
- Шестопалов В. М., Макаренко А. Н. О некоторых результатах исследований, развивающих идею В. И. Вернадского о "газовом дыхании" Земли. Статья 1. Поверхностные и приповерхностные проявления аномальной дегазации. *Геолог. журн.* 2013. № 3. С. 7—25.
- Çifçi G., Dondurur D., Ergün M., 2003. Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea. *Geo-Marine Lett.* (23), 311—322.
- Larin N. V., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V. N., 2015. Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia. *Natural Resources Research* 24 (3), 369—383. doi:10.1007/s11053-014-9257-5.
- Moss J. L., 2010. The spatial and temporal distribution of pipe and pockmark formation: PhD Thesis. Cardiff University. 314 p.
- Pilcher R., Ardent J., 2007. Mega-pockmarks and linear pockmark trains on the West African continental margin. *Marine Geology* 244 (is. 1—4), 15—32.
- Shestopalov V., Bohuslavsky A., Bubljas V., 2015. Groundwater vulnerability. *Chernobyl Nuclear Disaster*. Washington, DC: American Geophysical Union and John Wiley, 119 p.
- Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N. V., Pilchet D., Farrell K. M., 2015. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA). *Progress in Earth and Planetary Science* 31(2). doi:10.1186/s40645-015-0062-5.

On the possible geological and geophysical risks and prospects of the Chernobyl Exclusion Zone

© V. M. Shestopalov, 2016

Evidence and mechanisms of the potential influence of local depression (micro-geodynamic) zones on the NPP safety were considered. The depression forms were revealed within the Chernobyl NPP site, including location of the new safe confinement. Nature of zones and character of their influence is determined by fault structures and conjugated deep degassing processes, which cannot be detected and studied by conventional methods of engineering-exploration works during NPP siting. The assumption was made that significant and still unexplored risks for nuclear facilities are associated with probable escape of deep hydrogen through the bottom of depressions along sub-bottom channels. The approaches were proposed to studying the system of "depression with its sub-bottom channel" within the sites of Chernobyl NPP and other nuclear power plants. The prospects of searching for hydrogen accumulations as efficient energy resource were considered.

Key words: Chernobyl NPP site, new safe confinement, degassing of the Earth, system of "depression with its sub-bottom channel", earthquake, plasmoid, hydrogen explosion.

References

- Vasiliev V. G., 2006. The Chernobyl NPP Catastrophe. Approximation to the truth. Moscow: Belye alvy, 111 p. (in Russian).
- Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine. Water exchange and Chernobyl catastrophe, 2001. Ed. V.M. Shestopalov. Kiev: Institute of geological Sciences, Radioenvironmental Centre of NASU. 631 p. (in Russian).
- Volova T. G., Okladnikov Yu. N., Sidko F. Ya., Terskov I. A., Trubachev I. N., Fedorova Ya. V., 1981. Production of protein on hydrogen. Novosibirsk: Nauka, 275 p. (in Russian).
- Gorbachev B. I., 2005. When did the Chernobyl's reactor blow up actually? Additional proofs. *Bulleten po atomnoy energetike* (4), 48—50 (in Russian).
- Geological disposal of radioactive waste in Ukraine (problems and solutions), 2006. Ed. V.M. Shestopalov. Kiev: Radioenvironmental Centre, 398 p. (in Russian).
- Kiselev A. N., Checherov K. P., 2001. Destruction of the Chernobyl NPP power unit. *Bulleten po atomnoy energetike* (10), 20—25 (in Russian).
- Larin V. N., 2010. Hydrogen seeps have been discovered in the central area of the Russian platform. [Electronic resource]. <http://hydrogen-future.com/list-c-phenomen/2-page-id-6.html>.
- Larin V. N., Larin N. V., 2012. Problems of nuclear power plant in the light of hydrogen degassing of the Earth. [Electronic resource]. <http://hydrogen-future.com/en/geologiya-i-geopolitikaen/44-problems-of-nuclear-plants.html>.
- Larin V. N., Larin N. V., Gorbatikov A. V., 2010. Ring structures caused by the deep hydrogen fluxes: Earth's degassing: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and the life. *Proc. of All-Russian Conference, 18—22 October 2010*. Moscow: GEOS, 712 p. (in Russian).
- Portnov A. M., 2014. Hazardous holes of the Earth. *Priroda* (4), 94—96 (in Russian).
- Prister B. S., Klyushnikov A. A., Shestopalov V. M., Kuhar V. P., 2013. Problems of the Nuclear Energy Safety: Lessons learned from Chernobyl. Chernobyl: Institute for safety problems of NPPs, NASU, 199 p. (in Russian).
- Proskura N. I., Shestopalov V. M., Zinkevich L. I., Shibetskiy Yu. A., Alekseeva Z. M., Zhebrovskaya E. M., 2015. Assessment of the effectiveness for introduction of the new radioactive waste classification scheme in Ukraine. *Yaderna ta radiatsiyina bezpeka* (1), 34—40 (in Russian).
- Shestopalov V. M., 1999. Radioactive contamination and barrier functions of geological environment in the Exclusion zone. *Buletен ekologichnogo stanu zony vidchuzhennya ta zony obovyazkovogo vid-selennya* (15), 25—27 (in Ukrainian).
- Shestopalov V. M., Kashparov V. A., Ivanov Yu. A., Bagdevich I. M., 2001. Migration pathways of the "Chernobyl-derived" radionuclides in the onland

- landscapes. *Proceedings of the International Conference "Fifteen Years after the Chernobyl Disaster. Lessons Learned"*. Kyiv, 96—118 (in Russian).
- Shestopalov V. M., Makarenko A. N.*, 2013. On some results of studies developing the V.I. Vernadsky idea of the Earth "gas breathing". Article 1. Surface and near-surface manifestations of anomalous degassing. *Geologicheskij journal* (3), 7—25 (in Russian).
- Çifçi G., Dondurur D., Ergün M.*, 2003. Deep and shallow structures of large pockmarks in the Turkish shelf, Eastern Black Sea. *Geo-Marine Lett.* (23), 311—322.
- Larin N. V., Zgonnik V., Rodina S., Deville E., Prinzhofer A., Larin V. N.*, 2015. Natural Molecular Hydrogen Seepage Associated with Surficial, Rounded Depressions on the European Craton in Russia. *Natural Resources Research* 24 (3), 369—383. doi:10.1007/s11053-014-9257-5.
- Moss J. L.*, 2010. The spatial and temporal distribution of pipe and pockmark formation: PhD Thesis. Cardiff University. 314 p.
- Pilcher R., Ardent J.*, 2007. Mega-pockmarks and linear pockmark trains on the West African continental margin. *Marine Geology* 244 (is. 1—4), 15—32.
- Shestopalov V., Bohuslavsky A., Bubljas V.*, 2015. Groundwater vulnerability. Chernobyl Nuclear Disaster. Washington, DC: American Geophysical Union and John Wiley, 119 p.
- Zgonnik V., Beaumont V., Deville E., Larin N. V., Pilot D., Farrell K. M.*, 2015. Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA). *Progress in Earth and Planetary Science* 31(2). doi:10.1186/s40645-015-0062-5.