

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 624.13; 551.3

ПРИРОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ С СОЗДАНИЕМ ЕЕ ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР

© 2024 г. Г. П. Постоев^{1,*}, А. И. Казеев¹, М. М. Кучуков¹, Н. А. Орлова¹

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева Российской академии наук (ИГЭ РАН),
Уланский пер. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

*E-mail: opolzen@geoenv.ru

Поступила в редакцию 15.04.2024 г.

После доработки 28.06.2024 г.

Принята к публикации 20.07.2024 г.

Показано, что существует природная технология самоорганизации геологической среды с образованием новых структур, которая направлена на защиту исходного напряжённо-деформированного состояния от локального внешнего воздействия. Рассмотрены особенности и достоинства природной технологии при образовании оползневых блоков. Отмечается регламентирующая роль геологического критерия 0.009 в формировании и функционировании защитных структур. Показано приложение выявленных закономерностей при анализе подготовки провала земной поверхности над подземной полостью, деформаций грунтового основания под техногенной нагрузкой. Оценивается возможность проявления природной технологии при образовании локальных структур в воздушной и водной средах, гигантских колец на льду оз. Байкал.

Ключевые слова: самоорганизация, природная технология, геологическая среда, диссипативные геологические структуры, критерий (0.009), оползневой блок, провал, выпор грунтового основания, кольцевые структуры на льду

DOI: 10.31857/S0869780924050026 EDN: QPNNEP

ВВЕДЕНИЕ

При изучении напряженно-деформированного состояния грунтового массива на участке воздействия геодинамического процесса разрабатывается расчетная схема, в которой моделируется поведение геологической среды на участке указанного силового воздействия. Однако, несмотря на достаточно полный учет всех выявленных данных о геологическом строении участка, свойствах грунтов и другой информации, характеризующих особенности инженерно-геологических условий геологической среды, далеко не всегда удается установить истинный механизм произошедших изменений ее состояния. В действительности в геологической среде (в массивах горных пород, грунтов) формируется исходное напряженно-деформированное состояние (НДС) в поле тяготения Земли, в соответствии с законами физики. Локальное проявление геодинамического процесса (в виде склоновых деформаций, провала над подземной полостью, техногенной нагрузки и др.) может представляться как внешнее воздействие на геологическую среду, угрожающее изменением ее исходного состояния, которое может привести к разрушительным деформациям. Установлено, что в реакции геологической среды на внешнее воздействие проявляется ее

самоорганизация. В критической ситуации начинает действовать природная технология по трансформации НДС, с возникновением новых геологических локальных образований (диссипативных геологических структур).

Ниже характеризуются особенности природной технологии изменения НДС и структурных преобразований геологической среды. Рассматриваются природные аспекты механизма и закономерностей самоорганизации геологической среды с проявлением защитной реакции на воздействие геодинамического процесса при образовании разрушительных деформаций в виде оползневого блока, провала над подземной полостью, выпора грунтового основания, дается оценка новизны и достоверности рассматриваемой технологии и возможности использования выявленных закономерностей при изучении проявлений новых структур в других средах.

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ)

Естественное НДС геологической среды формируется в соответствии с физическими закономерностями [12]. В атмосфере и гидросфере в поле

тяготения Земли давление в каждой точке среды определяется по закону Паскаля. В литосфере (геологической среде) формирование НДС и определение соответствующего давления грунта в точке происходит по закону Кулона-Мора. По аналогии с атмосферным давлением, в геологической среде давление в точке массива от веса залегающих выше грунтов можно назвать **литосферным давлением**. При этом действует природный механизм – **самоорганизация геологической среды по формированию и сохранению исходного НДС в основной массе среды**. Вне влияния воздействующего процесса (например, оползневого очага) давление p_a в точке на глубине Z_a (базис смещения блоков в оползневом очаге) формируется по закону Кулона-Мора в зависимости от веса грунта над точкой (рис. 1):

$$p_a = (\gamma Z_a - \sigma_{str,a}) \cdot \operatorname{tg}^2(45 - \varphi_a/2), \quad (1)$$

где p_a – стабилизированное давление в точке массива на глубине ее залегания Z_a , одинаковое во всех направлениях [12]; γ – среднее значение удельного веса грунтов, залегающих над рассматриваемой точкой; Z_a – глубина залегания точки; $\sigma_{str,a}$ и φ_a – прочность структурных связей и угол внутреннего трения грунта в точке на глубине Z_a .

Давление p_a в точке проявляется как остаточная часть давления γZ_a от веса грунтов над точкой, с учетом доли, которую принимает на себя структурный каркас грунта $\sigma_{str,a}$ (структурные связи) и трение (φ_a). Если давление от веса грунта на глубине Z_i превышает структурную прочность, то давление p_i формируется по (1) в условиях компрессионного сжатия, где соседние точки взаимодействуют между собой, определяя устойчивое состояние под давлением γZ_i .

При возникновении критической ситуации на участке воздействия геодинамического процесса (например, оползневого) проявляется самоорганизация геологической среды по защите исходного НДС путем образования новых геологических структур и границ. Новое образование – диссипативная геологическая структура (ДГС), выглядит как “крупная точка” (в виде полушара

или полуцилиндра [7], в вертикальном сечении по центральному створу объемной структуры – полукруга). В грунтах оболочки ДГС на глубине Z_a создается давление (от веса замкнутой структуры) на два порядка выше (см. рис. 1), чем в точке массива (в исходном состоянии), в соответствии с отношением [13]:

$$p_a/\sigma_a = h/Z_a = 0.009, \quad (2)$$

где σ_a – давление в грунте оболочки ДГС на глубине Z_a – радиусе кривизны оболочки; h – толщина оболочки ДГС.

ДГС возникает, когда создается предельное состояние на горизонте базиса, ограничивая зону захвата массива оползневой процессом, и образует локальную замкнутую объемную часть геологической среды. ДГС, благодаря оболочке и созданным НДС внутри нее, самостоятельно взаимодействует с оползневой процессом, действует подобно защитному барьеру, сохраняя исходное состояние геологической среды за пределами своих границ.

В соответствии с (2) отношение толщины граничной оболочки ДГС к радиусу ее кривизны позиционируется авторами, как некая геологическая константа (критерий) 0.009 [13].

То есть при известных положении базиса воздействия геодинамического процесса (например, глубина захвата оползневой процессом Z_a) и давлении грунта в коренном залегании на горизонте базиса на границе с воздействующим процессом, критерий 0.009 определяет условия, при которых могут произойти разрушительные деформации геологической среды.

Таким образом, в результате самоорганизации геологической среды происходят:

- *локализация области влияния геодинамического процесса* на НДС геологической среды только в пределах границ ДГС (в соответствии с геологическим критерием 0.009 и трансформацией НДС в грунтах ее оболочки толщиной $h = 0.009Z_a$). В грунтах оболочки ДГС создается аномально высокое давление (на два порядка выше, чем в точке внутри нее), при этом исходные значения давления в точках замкнутого поля напряжений внутри ДГС сохраняются;
- *ликвидация угрозы изменения исходного состояния геологической среды* путем отделения ДГС от коренного массива с развитием *разрушительных деформаций только в грунтах ее оболочки* при достижении смещения в них (Δ_i) в режиме скашивания критического значения ($\Delta_{cr} = 0.009Z_a$) и перехода деформаций скашивания в срез. Тем самым обеспечиваются самостоятельное взаимодействие ДГС с воздействующим процессом и сохранение исходного состояния геологической среды в коренном массиве.

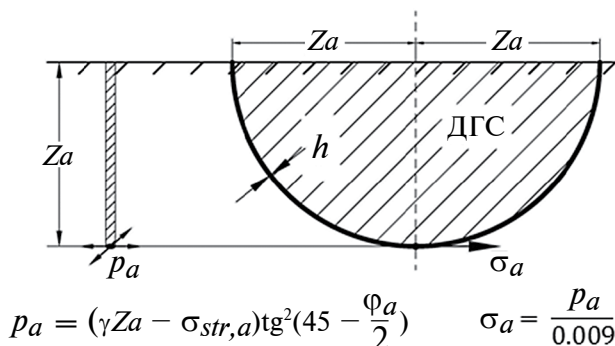


Рис. 1. Давление p_a в точке массива и σ_a – под новой объемной структурой (ДГС).

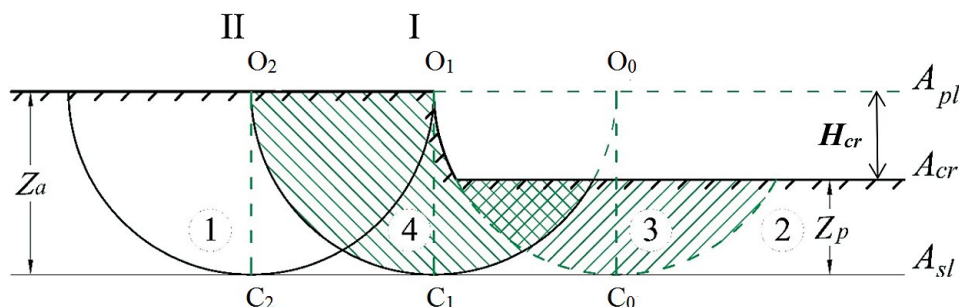


Рис. 2. Схема расположения ДГС по центральному сечению оползневого очага при формировании нового оползневой блока: 1 и 2 – коренной и оползневой массивы соответственно; 3 – смещенный оползневой блок с дневной поверхностью на уровне оползневой террасы в завершении оползневой цикла; I и II – ДГС в коренном массиве с центрами O_1 и O_2 соответственно; 4 – ДГС (подготавливаемый блок) в предельном состоянии коренного массива надоползневой уступа по контакту с оползневой террасой, $(Z_a - Z_p = H_{cr})$; C_0, C_1, C_2 – точки ДГС на горизонте базиса диссипации (нижней границы развития оползневых деформаций).

ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО БЛОКА

Основой технологии являются процессы **самоорганизации** геологической среды по защите исходного НДС от воздействия геодинамического процесса. Поэтому главными аспектами технологии, определяющими степень ее достоверности, могут служить признаки, зависимость, свидетельствующие о природном характере выявленных закономерностей формирования и функционирования ДГС, степень соответствия фактическим данным изменения НДС и развитие разрушающих деформаций.

Наиболее изучена рассматриваемая технология применительно к подготовке и отделению нового оползневой блока на границе с оползневой очагом. Получено уравнение предельного состояния ДГС в коренном массиве надоползневой уступа:

$$\gamma Z_a - \sigma_{str,a} = \gamma (Z_a - H_{cr}) \cdot \pi/2, \quad (3)$$

где, в дополнение к известным обозначениям (см. (1)), H_{cr} – критическое значение высоты откоса коренного массива (рис. 2).

Из (3) следует, что в предельном состоянии давление в грунтах на уровне базиса в оползневой части ДГС в $\pi/2$ раз меньше, чем в коренном залегании. Коэффициент $\pi/2 = (\gamma Z_a - \sigma_{str,a}) / \gamma (Z_a - H_{cr})$ отражает универсальное значение уравнения предельного состояния для любых исходных геологических и геоморфологических условиях (рис. 3).

То есть выявленная технология является реальной и определяет формирование предельного состояния при подготовке оползневой блока.

ПРОЯВЛЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ 0.009

Критерий 0.009 проявляется в динамике движения ДГС при подготовке блока. Критическое значение перемещения ДГС (на этапе подготовки оползневой блока) в виде деформации сжатия грунтов в узкой зоне оболочки (при повороте ДГС как единой монолитной конструкции по оболочке) составляет:

$$\Delta_{cr} = h = 0.009 Z_a. \quad (4)$$

Уравнение (4) получило экспериментальное подтверждение по данным мониторинга состояния массивов при образовании оползневой блока на участке Хорошево (Москва). А.М. Деминим сделано обобщение данных измерений смещений при образовании блоковых оползней на карьерах, в частности величины Δ_{cr} при различной высоте откоса H . Им установлено, что отношение Δ_{cr}/H

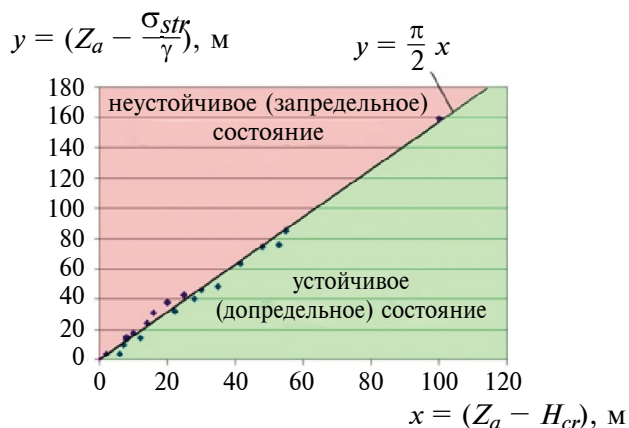


Рис. 3. Расчетный анализ предельного состояния коренного массива надоползневой уступа (при допущении среднего значения $\gamma = 20 \text{ кН/м}^3$) для фактических случаев исследования оползневых склонов в различных геологических условиях (перед катастрофической подвижкой) с развитием глубоких блоковых оползней [9].

находится в пределах 0.002-0.009, а учитывая также и приведенные результаты моделирования, указанное отношение ближе к 0.009 [2].

В работах П.Н. Науменко приведены данные исследований на двух оползневых участках в г. Одесса в периоды подготовки и отделения от массива плато оползневого блока [4, 5]. Анализ результатов, приведенных в указанных работах, также показал, что критическое значение смещения массива надоползневого уступа составило 0.009 (в соответствии с (4) от глубины Z_a до базиса смещения образованного блока).

Реальные признаки проявления ДГС при подготовке оползневого блока исследованы на участке Хорошево (Москва) [10]. Активизация деформаций в коренном массиве на участке Хорошево началась в конце 2006 г., в декабре проявилась трещина закола. В январе 2007 г. началось оседание оползневого блока со смещением грунтового массива ДГС по своей “оболочке”, как по поверхности скольжения (рис. 4).

Допредельное смещение ДГС-блока. В соответствии с результатами теоретических исследований отделение ДГС-блока должно было начаться, когда его смещение на допредельном этапе достигнет в соответствии с (4) $\Delta_{cr} = h = 0.009Z_a = 0.29$ м. Уже за 10 сут в конце сентября-начале октября, амплитуда вертикального смещения по трещине составила 0.16 м. Потом скорость оседания ДГС-блока замедлилась. Интенсивное оседание ДГС-блока с образованием поверхности скольжения (основное смещение) началось в январе 2007 г., а в феврале высота новой стенки срыва достигла 3 м.

Высота откоса надоползневого уступа на момент начала отделения нового оползневого блока имела критическое значение H_{cr} (см. рис. 4). Это было установлено по результатам анализа

положения оползневой террасы и вычислительных процедур по оценке состояния надоползневого уступа по уравниванию предельного состояния (3) в сопоставлении с данными мониторинга.

Возникновение трещины закола (точка O_2 , см. рис. 4) — выход на поверхность **новой геологической границы** — “оболочки” оползневого ДГС-блока.

Определение глубины до базиса ДГС. На данном оползневом участке базис оползания ранее смещенных блоков является и базисом ДГС-блока. Значение Z_a , рассчитанное по (3) с учетом данных о прочности грунта на горизонте базиса, практически совпало с данными мониторинга (инклинометрические измерения), согласно которым Z_a находится в пределах 31.2-31.5 м.

Выявление условий образования следующего блока. На основе расчетов было показано, что ДГС с центром O_2 (см. рис. 4) достигнет предельного состояния, когда оползневой ДГС-блок с центром O_1 осядет до уровня оползневой террасы, т.е. на H_{cr} .

Проявление граничной оболочки соседней ДГС с центром O_2 (см. рис. 4). Область пересечения двух ДГС с центрами O_1 и O_2 образует ядро (клин), основанием которого является линия O_1O_2 (на уровне плато). Фронтальная граница упомянутого ядра (клина) выходит на поверхность (индикатор С) на откосе образованного блока, свидетельствующая, что в формировании блока частично участвует и ДГС с центром O_2 (рис. 5).

Проявление круговой поверхности скольжения ДГС-блока. Разрушительное смещение блока после отделения происходит по круговой поверхности скольжения, образовавшейся в оболочке (**проседание блока** в тыловой части — граница O_2 и **выпор** — во фронтальной, см. рис. 4, индикатор D). Это подтверждено результатами геодезических наблюдений.

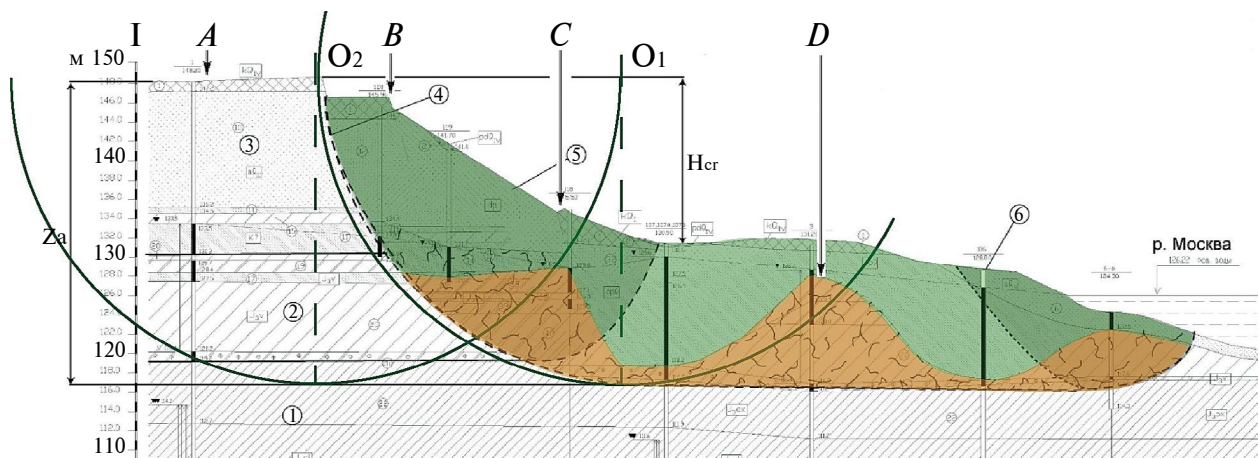


Рис. 4. Схематический инженерно-геологический разрез по центральному створу при образовании и отделении ДГС-блока на оползневом участке Хорошево (Москва). 1 и 2 — глины волжского и оксфордского ярусов юрской системы соответственно; 3 — пески четвертичных отложений; 4 — круговая поверхность скольжения в оболочке ДГС; 5 — отделившийся ДГС-блок; 6 — скважина. Границы ДГС-блоков показаны, как дуги окружности радиусом Z_a , зелеными линиями. A, B, C, D — индикаторы проявления ДГС.



Рис. 5. Фото выхода границы ДГС с центром O_2 на поверхность склона (см. рис. 4, индикатор C) на участке Хорошево (Москва).

Подпор подземных вод. У тыловой границы ДГС, между индикатором A и точкой O_2 (см. рис. 4) перед отделением блока наблюдался подъем уровня подземных вод (ПВ) в наблюдательных скважинах и в ближайших коммунальных колодцах. В грунтах оболочки ДГС (при ее повороте перед отделением) в соответствии с (2) в районе центрального створа возникает высокое давление, более чем на два порядка превышающее исходное давление в точке массива. Таким образом, в оболочке создается водоупорный слой, который препятствует установившемуся движению ПВ вниз по склону. В районе центрального створа ДГС образует подпор, и происходит переориентация потоков ПВ в стороны бортовых границ образованного оползневого ДГС-блока.

Образование поверхности отделения ДГС-блока

При воздействии геодинамического процесса (в данном случае оползневого очага) в геологической среде сохраняется исходное НДС до возникновения критической ситуации. Самоорганизация по защите НДС начинает действовать, когда достигается предельное состояние (3) по центральному створу участка на горизонте базиса. Реально ДГС проявляется в массиве, когда возникает трещина на дневной поверхности по контуру ДГС, определяя деформирование грунтов в соответствии с движением (поворотом) ДГС, как единой природной конструкции (рис. 6).

Образование трещины закола на плато (в районе центрального створа участка активизации деформаций, см. рис. 6, точка O_2) является индикатором проявления ДГС и начала ее поворота с центром O_1 . Смещение Δ_i массива ДГС относительно оболочки (поворот ДГС на угол α_i) вначале происходит по механизму скашивания грунтов оболочки. Отделение ДГС-блока происходит после достижения предельного значения смещения Δ_{cr} в соответствии с (4). При этом движение ДГС-блока в грунтах оболочки осуществляется как сдвиг по подготовленной поверхности (с разрывом структурных связей). В момент отделения угол поворота ДГС по оболочке составляет $\alpha_i = \alpha_{cr} = \Delta_{cr}/Z_a = 0.009$ радиан. Затем движение приобретает катастрофический характер.

Таким образом, уравнение (4) позволяет на основании закономерностей образования ДГС и выявления радиуса кривизны оболочки ДГС

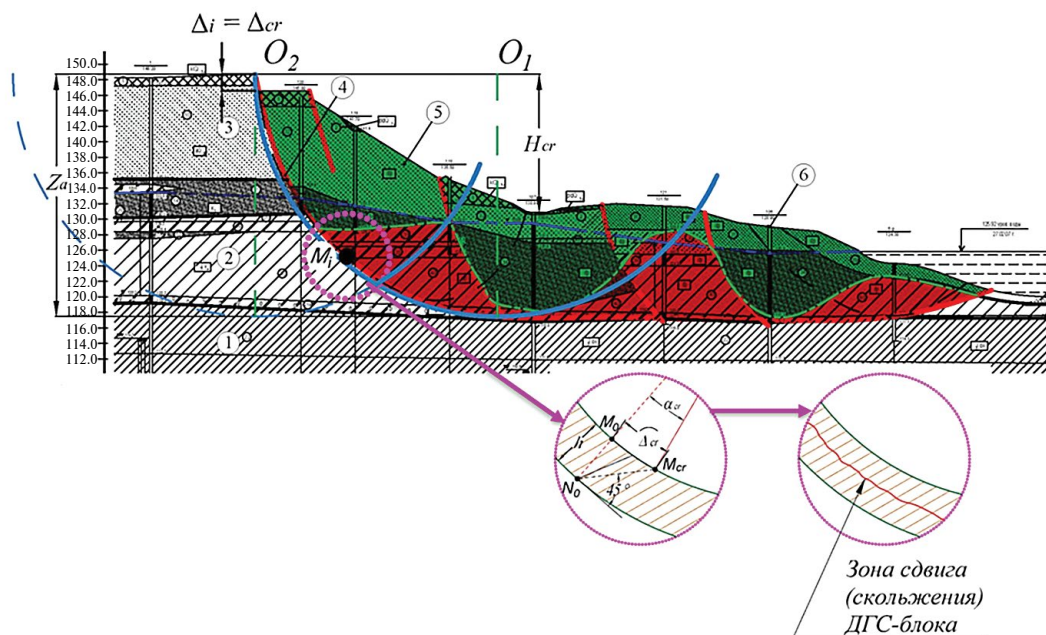


Рис. 6. Схема отделения ДГС-блока на участке Хорошево-1 (см. рис. 4) с показом в точке M_1 деформирования грунтов в оболочке ДГС — переход от ползучести в режиме скашивания к срезу по образованной поверхности скольжения (голубые сплошные линии).

установить расчетное значение предельной (критической) величины смещения ДГС на допредельном этапе, означающем переход к развитию разрушительных деформаций массива.

ДГС при подготовке провала

Проявление рассматриваемой природной технологии и геологического критерия 0.009 подтверждается также при анализе механизма формирования ДГС при подготовке провала над подземной полостью и в грунтовом основании под фундаментом сооружения.

При возникновении деформаций и снижения давления в грунтах слоя толщи над подземной полостью в покрывающем массиве (в локальной зоне над полостью) намечаются объемные ДГС в виде столба-цилиндра, а в нижней его части в виде свода, которые образуются при достижении предельного состояния. Получено уравнение предельного состояния ДГС (единой объемной структуры) перед образованием провала с обрушением ДГС в полость [8]:

$$\gamma Z_a - \sigma_{str} = \pi^2 \gamma R / 4, \quad (5)$$

где γ — среднее значение удельного веса грунтов в толще в пределах глубины Z_a ; Z_a — глубина до нижней опорной части ДГС в грунтах над полостью; σ_{str} — структурная прочность грунта на глубине Z_a ; R — радиус столба-цилиндра и свода над отверстием в полость.

Радиус провала, в соответствии с (5):

$$R = 4(Z_a - \sigma_{str}/\gamma)/\pi^2. \quad (6)$$

Согласно закономерностям, приведенным выше, и выражениям (5) и (6), толщина оболочки ДГС (свода и цилиндра) $h = 0.009R$.

ДГС в грунтовом основании

Под ленточным фундаментом шириной b в грунтовом основании при достижении предельного состояния возникают ДГС радиусом b . На схеме (рис. 7) показано положение ДГС при предельной нагрузке от фундамента.

Получено уравнение предельного состояния грунтового основания [6]:

$$\gamma b/m + \sigma_{str} = (0.866\gamma b - \sigma_{str} + \sigma_{q,cr})m,$$

и отсюда

$$\sigma_{q,cr} = \gamma b(1/m^2 - 0.866) + \sigma_{str}(1/m + 1), \quad (7)$$

где γ — среднее значение удельного веса грунтов основания толщи над горизонтом точек C_2 ; b — ширина фундамента; σ_{str} и ϕ — структурная прочность и угол внутреннего трения грунта на уровне точек C_1 и C_2 соответственно; $m = \tan^2(45 - \phi/2)$;

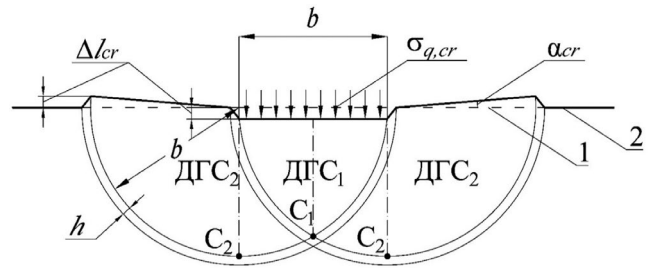


Рис. 7. Схема образования и функционирования защитных геологических структур (ДГС) в грунтовом основании ленточного фундамента шириной b в предельном состоянии грунтового основания при $\sigma_{q,i} = \sigma_{q,cr}$

$\sigma_{q,cr}$ — предельное значение давления на грунтовое основание под подошвой фундамента.

Увеличение текущих значений давления $\sigma_{q,i}$ вызывает оседание ядра ДГС1 и деформации грунтов в узкой зоне оболочки по механизму скашивания (см. рис. 7). То есть осадка фундамента — это результат деформирования грунта в оболочке ДГС1. И в этом случае $\Delta l_{cr} = h = 0.009b$. В предельном состоянии грунтового основания образуются ДГС2. При $\sigma_{q,i} > \sigma_{q,cr}$ происходит выпор грунтового основания в виде вращательного смещения ДГС.

В грунтовом основании на геологическую среду действует техногенный процесс — давление фундамента, и проявляется тот же механизм взаимодействия: действие геологического критерия 0.009 с образованием ДГС радиусом b , возникновение граничной оболочки толщиной $h = 0.009b$, развитие деформаций грунтов в оболочке ядра (ДГС1) и при достижении $\sigma_{q,cr}$ выпор ДГС2 в сторону пониженного давления (к поверхности площадки) под действием высоких напряжений в грунтах оболочки. На основе полученных зависимостей (4) и (7) разработана методика определения текущей осадки фундамента при $\sigma_{q,i} < \sigma_{q,cr}$ [11].

СПЕЦИФИКА ПРИРОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В результате реализации природной технологии — **самоорганизации геологической среды**, расчетная схема и механизм изменения НДС (параметры защитной структуры и ее граничной оболочки, режим деформирования грунтов в ней) подготавливаются самой средой в соответствии с условиями воздействия процесса (оползневой очага, подземной полости, техногенной нагрузки). При достижении предельных критериев изменения НДС предусмотрен этап разрушительных смещений образованных ДГС (отделение блока, провала и т.п.).

Представление геологической среды как линейно-деформируемого полупространства, использование принципа линейной деформируемости грунтов в соответствующих расчетных схемах и комплексах не всегда позволяет учесть фактические природные изменения НДС, что отражается на точности прогнозных решений.

Природная технология и ее отличительные особенности проявляются в следующем:

— преобразование НДС на локальном участке — это результат проявления самоорганизации геологической среды по защите ее исходного состояния от опасного воздействия геодинамического процесса;

— геологический критерий 0.009 имеет постоянное значение независимо от условий участка и видов внешнего воздействия, регламентирует проявление и функционирование механизма изменения НДС, возникновение новых структур и границ в массиве на участке опасного воздействия геодинамического процесса;

— выявляется объем массива (параметры ДГС), который может быть вовлечен в разрушительное смещение (в виде оползневого блока, провала, выпора грунтового основания);

— расчет предельного состояния массива на участке воздействия на геологическую среду производится в плоской схеме, определяя параметры ДГС;

— граничной поверхностью смещаемого массива (ДГС) в расчетной процедуре является окружность (по центральному створу) с радиусом кривизны оболочки ДГС;

— ДГС на этапе предельного состояния не взаимодействует в напряжениях ни с коренным, ни с оползневым массивами (за пределами границ ДГС), т.е. нарушение устойчивости ДГС единым массивом и смещение происходит по граничной оболочке;

— при подготовке оползневого блока в грунтах оболочки ДГС при начале движения (ее поворота) возникает высокое давление, которое препятствует исходной фильтрации грунтовых вод, вызывая их подпор в центральной части ДГС и направление потоков в обход ДГС.

ВОЗМОЖНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ 0.009 В ДРУГИХ ПРИРОДНЫХ СРЕДАХ

Выше было указано, что в природных средах НДС формируется по единым физическим закономерностям в поле тяготения Земли. В каждой точке среды проявляется давление, которое определяется в атмосфере и гидросфере по закону Паскаля, в геосфере (геологической среде) — по закону Кулона-Мора. Природная среда “следит” за

сохранением своего исходного состояния, проявляя **самоорганизацию** по блокировке возможных локальных опасных изменений (снижение исходных значений) давления в точках, не допуская распространение влияния локальных аномалий на основную ее часть, как это выявлено в геологической среде.

ДГС в атмосфере. Возникновение ДГС в виде свода проявляется по радуге — граничной оболочки свода, ограничивающего область пониженных значений атмосферного давления [12]. Согласно выявленным закономерностям в оболочке свода (ДГС) воздух должен быть более плотным, и давление в точках также на два порядка выше исходных значений. Оболочка из уплотненного воздуха и проявляется в лучах солнечного света в виде радуги. Толщина оболочки (радуги) визуальнo увязывается с радиусом кривизны ДГС (действие критерия 0.009). Чем больше радиус охвата территории с обводненным объемом воздуха (после грозы), где происходит локальное снижение атмосферного давления, тем толще радуга над этой территорией. Радуга, возникающая, например, при поливе из шланга на огороде, имеет совсем малую толщину, в соответствии с небольшими размерами участка полива и области снижения атмосферного давления на месте обводнения.

Следует отметить, что зоны пониженных значений атмосферного давления и соответствующие образования ДГС с граничными оболочками могут чаще проявляться в горных условиях. При этом возможное изменение характера полета воздушных судов (турбулентность, воздушные ямы) может быть связано с пересечением соответствующих структур и граничных оболочек.

Возникновение ДГС может быть также представлено в виде образования вихревых потоков воздуха. Атмосфера будет стремиться ограничивать возникающее аномальное изменение исходного ее состояния, путем создания новых локальных структур и защитных границ (оболочек ДГС), препятствующих распространению процесса изменения атмосферного давления на окружающее пространство атмосферы.

ДГС в гидросфере. В гидросфере также действует природный механизм сохранения и защиты установившегося НДС, т.е. давления в точках среды. В водоемах нередко наблюдаются воронки, где происходит исток воды. Практически возникает зона снижения (“утечки”) давления в водной среде. При значительном масштабе истока может образоваться вихревой поток. Появляется локальное понижение водной поверхности на участке оттока воды, и соответственно, понижаются значения давления в точках по глубине водоема. Следует соответствующая реакция природной среды на локальное снижение давления (НДС) — образование локальной структуры

и ее граничной поверхности (оболочки) со значительно более высоким давлением в ней, отделяющей локальный опасный участок от основного массива среды.

Известен феномен появления кругов на поверхности льда на оз. Байкал. Диаметр круга может достигать до 5-7 км, а ширина границы (кольца) круга — около 1 км. Было рассмотрено несколько версий, включая уфологический аспект; влияние газов, поднимающихся из донных отложений; влияние ветровых потоков; воздействие круговых течений и т.д. [1, 3, 14-16]. Согласно результатам, представленным в приведенных работах, к настоящему времени выполнен большой комплекс исследований физического состояния льда и воды на участках образования кругов с отбором керна, проб льда, измерением температуры, солености, движения воды на разных глубинах, изучено влияние газогидратов метана, топографии дна. Установлено, что лед по кольцу (обочине круга) тоньше почти в два раза, чем внутри него, и имеет следы разрушения, трещины. Вода подо льдом находится в циркуляционном движении по часовой стрелке, образуя круговое течение (водоворот); температура воды в водовороте около 3°C, что теплее, чем в окружающей водной толще. В поверхностном слое изменения в состоянии воды по минерализации и температуре указывали на влияние глубинных вод.

Согласно рассмотренной выше природной технологии гигантское кольцо может обозначать возникновение оболочки по краю круга (крупной локальной структуры) в ледяном покрове озера. То есть наряду с предложенными возможными причинами образования колец [1, 3, 14-16], может быть рассмотрена версия образования гигантских колец на льду оз. Байкал в результате реализации природной технологии самоорганизации по защите исходного НДС ледяного массива (как природной физической среды) от внешнего силового возмущения. Подо льдом проявляется аномальная зона. Кольца на льду озера возникают на участке действия водоворота в его водах. Возможно, вихревой поток, направленный вниз, способствует образованию под ледяным покровом зоны пониженного давления. Ледяной покров, как природная среда, реагирует на возникновение локального внешнего силового возмущения (воздействия зоны пониженного давления) путем создания в покрове льда защитной диссипативной геологической (физической) структуры — ДГС (по аналогии с геологической средой) в виде круга и кольца (граничной оболочки ДГС). Ледяной круг (ДГС) воспринимает воздействие зоны пониженного давления, локализует пространство ее влияния путем создания границы (кольца), отделяющей ДГС от остальной (основной) части ледяного покрова.

Вероятно, и для данных рассматриваемых природных сред (ледяной покров и водная толща озера) проявляется действие установленного геологического критерия 0.009. В атмосфере и гидросфере воздействующие процессы и соответствующие реакции сред весьма динамичны, поскольку изменения давления в точках среды происходят быстро, в отличие от геологической среды, обладающей прочностью. Это в какой-то мере может объяснить тот факт, что в установленных проявлениях отношение ширины кольца к радиусу круга несколько больше 0.009. То есть в процессе образования кольца могли изменяться процессы, происходящие в водной среде, и соответственно значения диаметра водоворота. Кроме того, известно, что появляются и двойные кольца. Вместе с тем, при действии критерия 0.009 в кольце должно возникнуть давление, которое может превышать структурную прочность льда, вызывая соответствующие его деформации, появление воды с расширением ореола кольца.

Следует отметить, что возможно и возникновение вихревого потока (водоворота) является реакцией на локальное воздействие в водной среде в придонной части озера. А сам водоворот в этом случае выполняет функцию новой защитной структуры. При этом в краевой части водоворота вследствие центробежных процессов повышаются плотность воды и давление, образуя граничную поверхность (оболочку), отделяющую вихревой поток, как единую замкнутую структуру, от окружающей водной толщи. Тем самым обеспечивается локализация возникшей аномалии и сохраняется исходное состояние вод озера за ее границами.

Представляет интерес исследование проявлений кругов на льду Байкала как натуральных моделей действия природной технологии по защите исходного НДС ледяного покрова и вод озера на участках аномального внешнего силового воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любая физическая среда стремится сохранять свое исходное состояние. Существует природная технология самоорганизации среды по формированию и защите (сохранению) ее исходного напряженно-деформированного состояния.

К настоящему времени установлено следующее. Геологическая среда, как и другие среды (воздушная и водная), формирует свое исходное НДС в поле тяготения Земли путем проявления соответствующих значений давления в точках среды. В геологической среде давление в точке определяется по закону Кулона-Мора (в воздушной и водной средах — по закону Паскаля). На участке воздействия геодинамического процесса геологическая среда проявляет

самоорганизацию по защите установившегося исходного НДС и происходит трансформация НДС в локальном объеме в результате формирования новых крупных защитных структур (ДГС) с граничными оболочками, которые взаимодействуют с процессом. В заключительной фазе (в критической ситуации) происходит **отторжение** образованной ДГС по ее граничным оболочкам с проявлением разрушительных деформаций (в виде оползневого блока, провала, выпора грунтового основания) от основного массива. Следует отметить, что образование ДГС – это следствие общих физических (природных) законов по предотвращению опасного распространения изменений давления в точках среды путем локализации зоны, откуда эта угроза исходит.

Выявлен геологический критерий 0.009, численно равный отношению толщины граничной оболочки ДГС к радиусу ее кривизны. Установлено его регламентирующее участие:

— в появлении новых границ (оболочек ДГС) в поле напряжений геологической среды на локальном ее участке,

— в определении параметров ДГС, в концентрации изменений НДС в грунтах ее граничной оболочки и возникновении высокого давления в ней (более чем на два порядка превышающее исходное значение в точках внутри ДГС),

— в проявлении критических состояний в функционировании ДГС до этапа разрушительных деформаций.

Исследован механизм образования ДГС и получены уравнения их предельного состояния (при образовании оползневого блока, провала над подземной полостью, деформирования грунтового основания под фундаментом).

Можно полагать, что в воздушной и водной средах также может действовать природная технология по защите (сохранения) исходного НДС, закономерности которой выявлены для геологической среды. Естественно, имеются свои особенности изменения НДС при создании новых защитных локальных структур (ДГС) и соответствующих границ (оболочек ДГС) в этих средах. В частности, возникновение радуги в атмосфере над обводненной территорией может свидетельствовать об образовании защитного свода над областью пониженного атмосферного давления.

Кольцевые структуры на льду Байкала могут быть использованы в качестве натурных моделей для выявления общих закономерностей и особенностей проявлений локальных трансформаций НДС и структурных преобразований в природных средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гранин Н.Г., Мизандронцев И.Б., Козлов В.В. и др. Кольцевые структуры на ледовом покрове озера Байкал: анализ экспериментальных данных и математическое моделирование // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 11. С. 1890-1903.
2. Демин А.М. Оползни в карьерах: анализ и прогноз. М.: ГЕОС, 2009. 79 с.
3. Зырянов В.Н., Чебанова М.К., Зырянов Д.В. Каньонные вихри. Приложение теории топографических вихрей к феномену ледовых колец Байкала // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 2. С. 132-141.
4. Науменко П.Н. Закономерности развития и механизм катастрофических оползневых смещений на Одесском побережье // Вопросы изучения оползней и факторов их вызывающих. Труды ВСЕГИНГЕО. 1968. Вып. 8. С. 42-59.
5. Науменко П.Н. Условия формирования и инженерно-геологическая характеристика оползней Черноморского побережья Одессы // Оползни Черноморского побережья Украины. М.: Недра, 1977. С. 57-100.
6. Постоев Г.П. Диссипативные геологические образования и модели оценки предельного состояния грунтовых оснований // Геоэкология. 2021. № 2. С. 41-48.
7. Постоев Г.П. Диссипативные структуры в грунтовом массиве на примере формирования глубоких оползней // Инженерная геология. Т. XIII. № 3/2018. С. 54-61.
8. Постоев Г.П. Модели механизма формирования и расчета провалов земной поверхности над подземными полостями // Геоэкология. 2020. №4. С. 36-47.
9. Постоев Г.П. Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований). М.; СПб.: Нестор-История, 2013. 100 с.
10. Постоев Г.П., Казеев А.И., Кучуков М.М., Геологические закономерности образования диссипативных геологических структур — оползневых блоков // Геоэкология. 2021. № 4. С. 32-40.
11. Постоев Г.П., Кучуков М.М., Казеев А.И. Геологические основы расчета осадки ленточного фундамента // Грунтоведение. 2023. № 2. С. 32-40.
12. Постоев Г.П., Кучуков М.М., Казеев А.И. Физические законы распределения давления в геологической среде // Геоэкология. 2020. № 6. С. 22-31.
13. Постоев Г.П., Кучуков М.М., Казеев А.И., Орлова Н.А. Геологический критерий 0.009 в развитии геодинамических процессов // Сергеевские чтения. 2023. Вып. 24. М.: Геоинфо, С. 23-28.
14. Шахвердов В.А., Кропачев Ю.П., Московцев А.А., Дронь О.В. Новые данные о причинах формирования кольцевых структур на льду озера Байкал // Региональная геология и металлогения. 2021. № 85. С. 21-30.
15. Kouraev A.V., Hall N.M.J., Rémy F., Zakharova E.A. et al. Giant ice rings in southern Baikal: multi-satellite data help to study ice cover dynamics and eddies under ice // Cryosphere. 2021. Т. 15. № 9. С. 4501-4516.
16. Kouraev A.V., Zakharova E.A., Rémy F. et al. Giant ice rings on lakes Baikal and Hovsgol: inventory, associated water structure and potential formation mechanism // Limnology and Oceanography. 2016. Т. 61. № 3. С. 1001-1014.

NATURAL TECHNOLOGY FOR TRANSFORMING THE STRESS-STRAIN STATE OF GEOENVIRONMENT WITH THE CREATION OF ITS LOCAL STRUCTURES

G. P. Postoev^{a, #}, A. I. Kazeev^a, M. M. Kuchukov^a, N. A. Orlova^a

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences,
Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000 Russia*

[#]*E-mail: opolzen@geoenv.ru*

The paper proves the existence of a natural technology for self-organization of the geological environment with the formation of new structures, which is aimed at protecting the initial stress-strain state from local external impact. The specific features and advantages of this natural technology are considered upon the formation of landslide blocks. The regulatory role of the geological criterion 0.009 in the formation and functioning of protective structures is emphasized. The revealed regularities may be applied for the analysis of the collapse preparation at the Earth's surface above a subsurface cavity as well as for the soil foundation deformation under technogenic load. The possible manifestation of this natural technology in the formation of local structures in the air and water environments, giant rings on the Lake Baikal ice, in particular, is discussed.

Keywords: *self-organization, natural technology, geological environment, dissipative geological structures, criterion (0.009), landslide block, failure, soil uplift, ring structures on ice*

REFERENCES

1. Granin, N.G., Mizandrontsev, I.B., Kozlov, V.V. et al. Natural ring structures on the Baikal ice cover: analysis of experimental data and mathematical modeling. *Russian Geology and Geophysics*, 2018, vol. 59, no. 11, pp. 1514-1525. (in Russian)
2. Demin, A.M. [Landslides in open-cut mining: analysis and forecast]. Moscow, GEOS Publ., 2009, 79 p. (in Russian)
3. Zyryanov, V.N., Chebanova, M.K., Zyryanov, D.V. Canyon vortices: application of the theory of topographic vortices to the phenomenon of ice rings in Baikal. *Water Resources*, 2022, vol. 49, no. 2, pp. 163-172.
4. Naumenko, P.N. [Patterns of development and mechanism of catastrophic landslide displacements on the Odessa coast]. In: [Issues of studying landslides and their causing factors]. *Trudy VSEGINGEO*, 1968, issue 8, pp. 42-59. (in Russian)
5. Naumenko, P.N. [Formation conditions and engineering geological characteristics of landslides at the Black Sea coast of Odessa]. Moscow, Nedra Publ., 1977, pp. 57-100. (in Russian)
6. Postoev, G.P. [Dissipative geologic formations and models for estimating the limit state of the ground bases]. *Geoekologiya*, 2021, no. 2, pp. 41-48. (in Russian)
7. Postoev, G.P. [Dissipative structures in the ground massif by the example of deep landslides formation]. *Enzhenernaya geologiya*, 2018, vol. XIII, no. 3, pp. 54-61. (in Russian)
8. Postoev, G.P. [Models of the formation mechanism and calculation of the parameters of land surface failures over underground cavities]. *Geoekologiya*, 2020, no. 4, pp. 36-47. (in Russian)
9. Postoev, G.P. [The limiting state and deformations of soils in the massif (landslides, karst sinkholes, precipitation of soil bases)]. Moscow, St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2013, 100 p. (in Russian)
10. Postoev, G.P., Kazeev, A.I., Kuchukov, M.M. [Geological regularities of formation of dissipative geological structures – landslide blocks]. *Geoekologiya*, 2021, no. 4, pp. 32-40. (in Russian)
11. Postoev, G.P., Kuchukov, M.M., Kazeev, A.I. [Geological foundations for calculating the precipitation of a strip foundation]. *Gruntovedenie*, 2023, no. 2, pp. 32-40. (in Russian)
12. Postoev, G.P., Kazeev, A.I., Kuchukov, M.M. [Physical laws of stress distribution in geoenvironment]. *Geoekologiya*, 2020, no. 6, pp. 22-31. (in Russian)
13. Postoev, G.P., Kuchukov, M.M., Kazeev, A.I., Orlova, N.A. [The geological criterion 0.009 in the development of geodynamic processes]. *Sergeev's readings*, 2023, issue 24, pp. 23-28. (in Russian)
14. Shakhverdov, V.A., Kropachev, Yu.P., Moskovtsev, A.A., Dron', O.V. [New data on the causes of the formation of ring structures on the Lake Baikal ice]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2021, no. 85, pp. 21-30. (in Russian)
15. Kouraev, A.V., Hall, N.M.J., Rémy, F., Zakharova E.A. et al. Giant ice rings in southern Baikal: multi-satellite data help to study ice cover dynamics and eddies under ice. *Cryosphere*, 2021, vol. 15, no. 9, pp. 4501-4516.
16. Kouraev, A.V., Zakharova, E.A., Rémy, F. et al. Giant ice rings on lakes Baikal and Hovsgol: inventory, associated water structure and potential formation mechanism. *Limnology and Oceanography*, 2016, vol. 61, no. 3, pp. 1001-1014.