

1508
АКАДЕМИЯ НАУК СССР

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ
И ГИДРОГЕОЛОГИИ

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНЫМ ИЗЫСКАНИЯМ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГОССТРОЯ СССР

Шерстнев

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ МАССИВОВ ПОРОД И ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ответственные редакторы

кандидат геолого-минералогических наук

Н.Л. ШЕШЕНЯ

кандидат технических наук

Ю.Д. ЗЫКОВ



МОСКВА "НАУКА" 1986

(P_2Kz) мощностью до 20 м, размытые повсеместно и имеющие островной характер распространения, позднепермские глины, алевроиты и алевролиты (P_2t), подверженные размывам и имеющие мощность до 21 м; среднечетвертичные-голоценовые пески (Q_{II-IV}) мощностью 20-65 м. Имеются два водоносных горизонта: грунтовых вод в песках с уровнем на глубине 5-10 м и напорных вод в карстующих породах с пьезометрическим уровнем, близким к уровню грунтовых вод. В районе зарегистрировано значительное количество деформаций поверхности в виде провалов и оседаний.

В рассмотренных условиях целесообразно выделение таких фаз провалообразования, которые соответствуют толщам карстующихся и глинистых водоупорных пород, водонасыщенных и влажных песков.

I фаза отвечает процессу сводообразования. Результаты бурения свидетельствуют, что большинство полостей в районе располагается на контакте карстующихся пород с глинистыми отложениями. При этом возможны три варианта разрушения водоупора, слагающего кровлю полости: прогибание кровли с образованием сквозных нарушений, прогибание кровли с вывалом блока пород, сводообразование в кровле полости с последующим обрушением пород. В первом варианте ведущим процессом образования провала будет суффозия, в остальных - гравитационное обрушение.

С момента зарождения карстовой полости начинается изменение напряженного состояния окружающих ее пород, кровля полости стремится приобрести устойчивую форму в виде свода, который по мере роста полости также будет расти, причем каждый последующий свод будет круче предыдущего [2]. При некоторой критической ширине полости происходит обрушение свода. Прогибание толщи водоупора и последующее обрушение пород является менее вероятным событием, хотя именно такой механизм обрушения кровли полости получен на моделях из эквивалентных материалов [5]. Однако эти результаты неадекватны природным провалам из-за различной скорости развития полостей в природе и моделях. Возникновение сквозных нарушений в результате прогибания кровли при достижении полостью критической ширины [7] тоже маловероятно, так как требуется значительная амплитуда прогибания, что приведет к появлению на поверхности деформаций типа просадки или обрушения кровли. Процесс образования сквозных нарушений более сложен и может быть связан с вскрытием в водоупоре развивающимися сводами крупных трещин или раскрытием их в кровле карстовых полостей в массивах гипсов при отсутствии водоупора. Поэтому процесс суффозии через сквозные нарушения не может иметь регионального характера. Наиболее вероятным механизмом разрушения кровли полости является процесс сводообразования. В пользу этого говорят результаты бурения в провалах, подтверждающие уменьшение мощности глинистых отложений, обрушившихся в карстовые полости.

II фаза отвечает гравитационному обрушению и разрушению (разжижению) песка под воздействием гидродинамических сил. Механизм деформации водонасыщенных песков в природе наблюдать трудно. Можно предположить,

что отмеченные деформации приведут к образованию промежуточной заполненной водой полости,двигающейся вверх [3, 5, 7]. Достигнув уровня грунтовых вод, промежуточная полость будет стремиться принять форму перевернутого конуса с углом наклона образующей, близким к углу естественного откоса водонасыщенных песков.

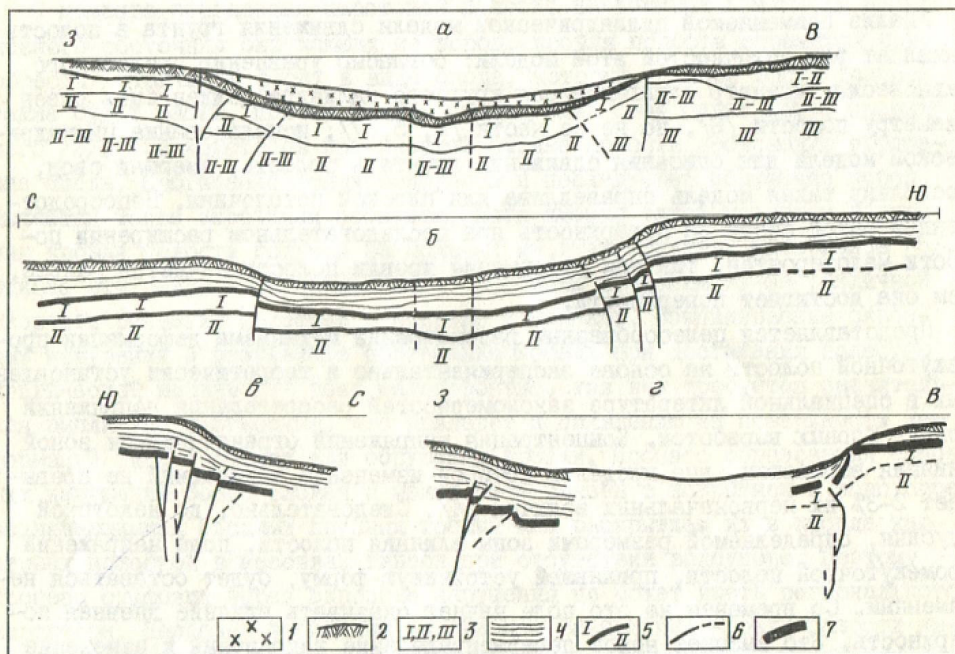
III фаза соответствует образованию провалов различной формы. Одновременно с изложенным выше процессом влажные пески начинают обрушаться и в них возникает новая промежуточная полость, свод которой также будет стремиться принять устойчивую форму. По общепринятому мнению, выход провала на поверхность возможен в виде обрушения круглоцилиндрического массива грунта в промежуточную полость критического размера или при непосредственном выходе свода на поверхность в результате роста промежуточной полости [5-7]. Отсюда следует, что в изучаемых природных геологических условиях промежуточные полости некоторых объемов не могут выйти на поверхность. Измерения параметров провалов показали, что в одних и тех же геологических условиях в непосредственной близости друг от друга возникают провалы различных объемов, в том числе и такие, которые согласно принятым схемам произойти не могут. Это свидетельствует о том, что промежуточная полость во влажных песках должна двигаться вверх.

Анализ применяемой цилиндрической модели сдвижения грунта в полость выявляет ряд неточностей этой модели: согласно уравнению предельного равновесия, диаметр сдвигающегося круглого цилиндра должен быть равен диаметру полости [8], но не ее части [2, 5, 7]; использование цилиндрической модели для описания сдвижения грунта в полость, имеющей свод, поскольку такая модель справедлива для плоской потолочины. Непосредственный выход свода на поверхность при последовательном расширении полости маловероятен, так как деформация кровли полости начнется раньше, чем она достигнет поверхности.

Представляется целесообразным рассмотреть механизм деформации промежуточной полости на основе экспериментально и теоретически установленных в специальной литературе закономерностей распределения напряжений вокруг горных выработок. Концентрация напряжений ограничивается зоной влияния выработки, вне пределов которой изменение напряжений не превышает 2-3% их первоначальных величин [4]. Следовательно, до некоторой глубины, определяемой размерами зоны влияния полости, поле напряжений промежуточной полости, принявшей устойчивую форму, будет оставаться неизменным. Со временем на это поле начнет оказывать влияние дневная поверхность. Это вызовет новое перераспределение напряжений и изменение формы полости на более устойчивую. Дальнейшее продвижение полости вверх и нарастание влияния дневной поверхности приведет к нарушению устойчивости полости, обрушению в нее вышележащего грунта и появлению на поверхности провала. Анализ распределения напряжений вокруг выработки эллиптической формы [4] показывает, что разрушение начинается в сводовой части.

Раскопки провалов позволили определить ряд закономерностей их строения и уточнить механизм обрушения грунта (рис.1). В центре провалов выявлено наличие опущенных блоков грунта квазицилиндрической формы. Амплитуда их смещения незначительна, зона деформации устанавливается косвенно по изгибанию границ между слоями. Поэтому смещение этого блока происходит с небольшим опережением по отношению к остальной части обрушившихся пород. Строение краевых частей провалов показывает, что такое обрушение происходит с разделением его на блоки, ограниченные параболоми. Поскольку понижение в центральной части характерно для большинства провалов в исследованном районе, можно предполагать наличие единого механизма обрушения пород в промежуточную полость.

В зависимости от свойств песков провал может принять первоначально сводообразную, цилиндрическую, различные конические формы. Причем последние образуются при разрушении краевых частей провалов часто с образованием трещин и ступеней, плоскости которых располагаются не ниже дна провалов. Интересен факт значительного сходства изложенной схемы



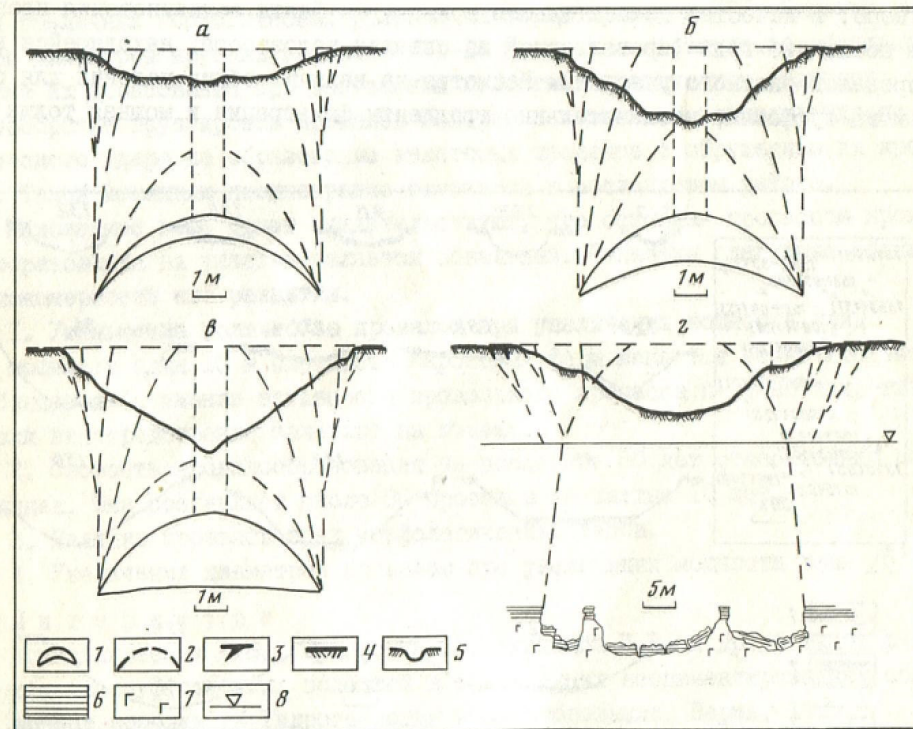
Р и с. 1. Строение провалов №92 (а) и №131 (б, в, г)

I - перестроенный грунт; 2 - почва; 3 - песок (I - темно-коричневый, II - светло-коричневый, III - желтый); 4 - песок серый; 5 - границы между слоями разноцветных песков; 6 - обнаруженные и предполагаемые зоны деформаций; 7 - древняя погребенная почва с глинистым материалом

образования провалов во влажных песках и результатов экспериментов по изучению механизма деформации полостей в водонасыщенных песках [1].

Согласно изложенной схеме выхода провала на поверхность, его форма связана с размерами промежуточной полости. От этих размеров зависит появление провалов просадочного типа, форма усеченного конуса, чашеобразных и конусообразных провалов (рис.2а, б, в). Кроме таких форм в районе исследования наблюдаются провалы с диаметрами до 40 м и глубиной до 10 м, осложненные ступенями и несколькими рядами трещин. Очевидно, они образуются в результате одновременного обрушения всей толщи покрывающих отложений в крупную карстовую полость или в систему крупных полостей (рис.2, г).

Если принять гипотезу о сходстве механизма разрушения промежуточных полостей в различных толщах покрывающих отложений, то выявляется четкая зависимость форм промежуточных полостей и провалов от размеров карсто-

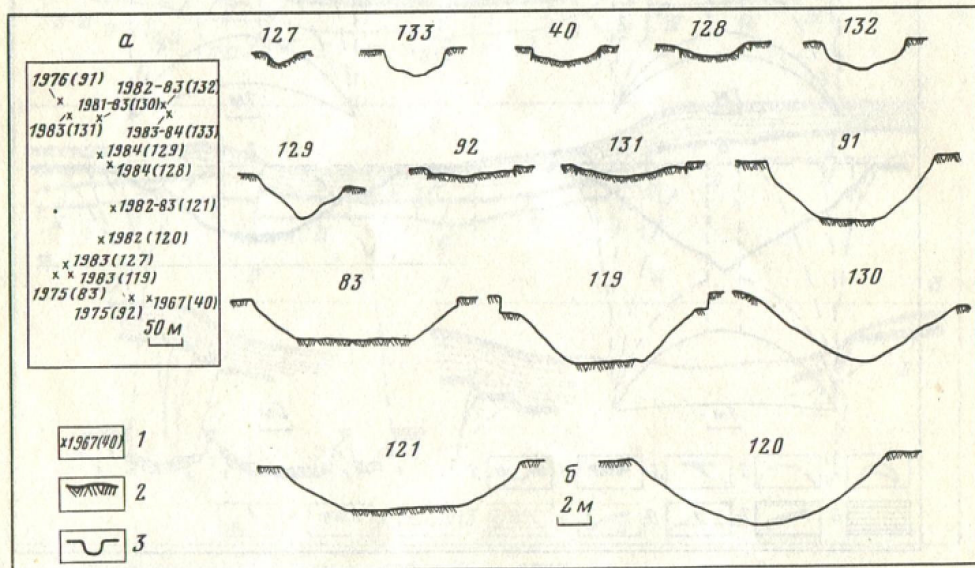


Р и с. 2. Схема образования провалов просадочной формы (а), усеченного конуса (б), чашеобразных конусообразных (в), крупных размеров (г)

I - промежуточная полость; 2 - контуры обрушивающихся блоков; 3 - трещины; 4 - почва; 5 - контуры провалов; 6 - водоупорные отложения; 7 - карстующиеся породы; 8 - уровень грунтовых вод

вых полостей при обрушении их кровли. Вероятно, формы суффозионных провалов близки к чашеобразным, конусообразным, так как промежуточные полости будут стремиться принять параболическую форму с плоским основанием. Отсюда появляется возможность получения информации о механизме провалообразования по внешним формам и строению провалов.

С этой целью были проведены исследования на одном из опорных участков в районе водозабора, характеризующемся специфическим развитием провального процесса. Здесь с 1967 по 1984 г. произошло 14 провалов. Причем 10 из них – за последние 2–3 года (рис.3). В геологическом строении района водозабора принимают участие пески мощностью 30–40 м, глины и алевролиты мощностью 10–15 м, известняки мощностью около 8–15 м, подстилаемые гипсово-ангидритовой толщей (в пределах водозабора скважинами не вскрыта). Откачки ведутся из грунтовых (с 1938 г.) и карстовых (с 1960 г.) вод. В настоящее время уровень грунтовых вод находится на глубине 15–20 м и превышает пьезометрический уровень карстовых вод на 5–6 м. По мнению большинства исследователей, образование провалов в этом районе связано с суффозией песков через сквозные нарушения в водоупоре. В качестве доказательств приводятся факты возникновения провалов в последние годы (провал одной из скважин водозабора, находящейся вне пределов опорного участка). Несмотря на наличие общих условий для развития суффозии, незначительные градиенты фильтрации и мощная толща во-



Р и с. 3. План расположения провалов на опорном участке (а) и их формы (б)

1 – провал, год его образования и номер; 2 – почва; 3 – контуры провалов

доупора ставят под сомнение возможность развития здесь активных суффозионных процессов. Провал скважины является единственным случаем на территории водозабора (за исключением опорного участка) и, вероятней всего, объясняется возникновением и разрушением суффозионной полости в песках, из которых идет водоотбор. Заметим, что ни одна из скважин на территории водозабора не вскрыла карстовых полостей и зон разрушенных пород.

Образование провалов на рассматриваемом локальном участке говорит о различном строении этого участка и территории водозабора. Опорный участок, вероятно, расположен в пределах границы древнего размыва. Под водоупором здесь находится разрушенная зона с карстовыми полостями и крупными провалами. Водоотбор карстовых вод обусловил вынос заполнителя полостей и мелкой фракции из разрушенных зон. Это способствовало росту карстовых полостей. Некоторое изменение режима водоотбора в последние годы нарушило напряженное состояние пород в кровле полостей и явилось одной из причин образования провалов в короткий промежуток времени. В пользу обвальной схемы провалообразования говорят морфологические особенности провалов (см.рис.3,б), необъяснимые гипотезой о влиянии различных геологических условий на форму провалов [7]. Близкие размеры диаметров крупных провалов (II–I4 м) свидетельствуют об обвальной форме их образования при достижении полостями критических размеров. Своеобразие группировки провалов говорит о возможном влиянии гидродинамического удара на образование некоторых провалов с обрушением их кровли. Такой механизм неоднократно отмечался в исследуемом районе.

Изложенные выше факты свидетельствуют, что основным процессом провалообразования на участке является обвальный. Выявлены следующие общие закономерности его развития.

1. Уменьшение количества провалов при увеличении мощности глин. До мощности глин 15 м плотность карстовых форм меняется незначительно. Наблюдается снижение активности провального процесса на участках, где пески непосредственно залегают на гипсах.
2. Скорость провалообразования за последние 30 лет относительно постоянная. Она составляет около 30 провалов за каждые 10 лет.
3. Наличие провалов всех морфологических типов.
4. Увеличение диаметров провалов при увеличении мощности глин [5].

Л и т е р а т у р а

1. Архидьяконских Ю.В., Ерастов В.С., Кузнецов П.В. и др. О типах разрушения суффозионных полостей в обводненных нецементированных обломочных породах // Гидрогеология и карстование. Пермь, 1975. С.162–163 (Вып.7).
2. Давыдко Р.Б., Толмачев В.В. Моделирование деформаций рыхлых толщ пород над карстовыми полостями // Инженерные изыскания в строительстве: Сер.15 / ЦИНИС. 1977. Вып.6(59). С.28–33.(Реф. сб.).
3. Давыдко Р.Б., Толмачев В.В. Некоторые результаты изучения на моделях деформаций рыхлых водонасыщенных пород над карстовыми полостями

ми // Моделирование формирования суффозионных и карстовых полостей (Тез. докл. науч. техн. семинара 29-30 ноября 1979 г.). Пермь: Перм. кн. изд-во. 1979. С. 54-55.

4. Насонов Л.Н. Механика горных пород и крепление горных выработок. М.: Недра, 1969. 380 с.
5. Толмачев В.В., Карпов Е.Г., Хоменко В.П. и др. Механизм деформаций горных пород над подземными карстовыми формами // Инженерная геология. 1982. №4. С. 46-59.
6. Хоменко В.П. Геомеханическая модель провалообразования в необводненных песчаных грунтах // Комплексные инженерно-геологические исследования для промышленного и гражданского строительства. М.: Наука, 1984. С. 69-74.
7. Хоменко В.П., Зянгиоров Р.С. Экспериментальное изучение закономерностей формирования провалов в песках, перекрывающих карстовые полости // Инженерная геология. 1981. №2. С. 72-84.
8. Шахуняц Г.М. Земляное полотно железных дорог. М.: Трансжелдориздат. 1953. 827 с.

УДК 551.435.8:551.44

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ КАРСТА В НИЗОВЬЯХ ОКИ В ПАЛЕОЗОЙСКО-КАЙНОЗОЙСКОЕ ВРЕМЯ

Е.В.Копосов

Вопросы развития карста в Среднем Поволжье, особенно в бассейне нижней Оки, изучены очень слабо. Анализ рельефа и описание многочисленных обнажений, шурфов и скважин позволяют утверждать, что проявлению карста в бассейне нижней Оки предшествовало длительное и сложное формирование геолого-гидрогеологической обстановки района.

Карстующиеся сульфатно-карбонатные породы (с которыми связаны провалы плейстоцен-голоценового возраста) начали образовываться в раннепермскую эпоху. Согласно Н.М.Страхову, это была заключительная стадия регрессивного осадочного цикла, который характеризовался постепенным превращением морского бассейна с нормальной соленостью вод в изолированные и полузамкнутые водоемы лагунного типа с повышенной солонатовостью вод. В этих водоемах происходило накопление гипсо-ангидритовых и известняково-доломитовых отложений. В результате продолжавшегося подъема Русской платформы породы были выведены на дневную поверхность и на протяжении почти 15 миллионов лет подвергались интенсивному физическому и химическому выветриванию. Поэтому, как справедливо отмечал А.В.Ступинин, создались благоприятные условия для развития карста. В это время получили развитие преимущественно обнаженные карстовые ландшафты тропического климата.

По данным Р.Б.Давыдова, интенсивные тектонические движения в начале поздней перми привели к воздыманию Уральской горной страны и последова-

тельной пульсационной миграции зоны прогибания из зоны передового прогиба в пределы центральной части Русской платформы. Увеличение амплитуды прогибания, по мнению Н.С.Иголкина, В.П.Кирикова, Т.Ю.Кривской, привело в начале казанского века к широкой ингрессии моря Скандика в пределы Русской платформы со стороны Притиманья, которое затопило рассматриваемую территорию. Воды казанского моря, видимо, характеризовались изменчивой соленостью, что подтверждается пестрым литологическим составом отложений. Карст в это время не развивался, так как условия для его развития были неблагоприятными. По данным Г.С.Кулинича, Б.И.Фридмана, Е.И.Уланова, А.А.Терентьева, море ушло из пределов изучаемой территории в конце барбашинского времени, и здесь снова установился континентальный режим с активным физическим и химическим выветриванием. Это привело к развитию процессов карста и разрушению горных пород, к уничтожению позднеказанских карбонатных слоев. Согласно В.И.Игнатьеву, в начале татарского века новое прогибание района привело к ингрессии в его пределы внутриплатформенного опресненного моря. Седиментационный бассейн уржумского века установился в основном в пределах контура границ казанского моря. Впервые за позднепермскую геологическую историю речной сток стал осуществляться с двух сторон - с востока (Урал, Тиман) и северо-запада (Балтийский щит, Беломорское плато). Характерной особенностью этого бассейна явилось то, что он развивался и существовал за счет речного стока и заполнялся аллохтонным материалом. Условия для развития карста в это время были неблагоприятными.

Произшедшие на границе ранне- и позднеатарского времени тектонические подвижки в складчатой зоне Палеоурала привели к обновлению палеотектонической структуры и палеогеографических обстановок в смежных с ним областях. Единный уржумский седиментационный бассейн распался на ряд обособленных водоемов с различной соленостью вод. По мнению М.В.Муратова, М.Ф.Микунова, Е.С.Чернова, в течение всего триаса и ранней юры район исследований уже не являлся зоной аккумуляции осадков. Условия развития карста в отличие от предыдущих эпох существенно изменились за счет того, что карбонатно-сульфатные породы покрылись чехлом нерастворимых песчано-глинистых образований. Это затруднило процесс поверхностного выщелачивания и проникновения атмосферных вод в карстующиеся породы.

К началу среднеюрской эпохи территория представляла собой плато со сглаженными формами рельефа, жарким гумидным климатом. Следы карста этого времени на изучаемой территории не зафиксированы. Однако не исключено, что карстовые формы могли быть уничтожены в период батской трансгрессии. В это время Токмовский свод постепенно погружался, что привело к трансгрессии морского бассейна с севера и юга.

Конец мелового периода явился временем крупной регрессии моря. В конце позднемеловой эпохи и последовавших за ней палеогенового и нео-