

зов, что способствует появлению пузырьков и возможности конвективного переноса на поверхности всплывающих пузырьков, как и принято объяснять струйную миграцию. Представление о ненасыщенности подземных вод газами, по-видимому, вызвано отсутствием учета влияния минерализации воды на растворимость газов, поскольку расчет растворимостей в концентрированном многокомпонентном растворе представляет собой достаточно сложную специальную задачу.

3. Наряду с диффузией растворенных в подземных водах веществ и природной ионной флотацией на всплывающих газовых пузырьках, струйная миграция в ионной форме может вызываться также естественным вертикальным ионным электрическим током, который создается геотермическим градиентом, благодаря высокой термоЭДС водных растворов, пропитывающих горные породы (порядка 1 мВ/град).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.Г. Прогноз и поиски разноранговых углеводородных объектов с использованием новых геофизических и геохимических методов / С.Г. Алексеев, Н.А. Ворошилов, С.А. Вешев, Д.Ф. Калинин, Е.Г. Маргович, М.Б. Штокаленко // Российский геофизический журнал. — 2011. — № 49–50. — С. 70–95.
2. Большая Советская Энциклопедия, 1957. — Т. 48. — С. 501–502.
3. Болтромаеюк, В.В. Общая химия: Учебное пособие / В.В. Болтромаеюк. — Минск: Выш. шк., 2012. — 624 с.

4. Ворошилов, Н.А. Поиски рудных месторождений по наложенным ореолам рассеяния / Н.А. Ворошилов, С.Г. Алексеев, М.Б. Штокаленко // Российский геофизический журнал. — 2016. — № 55–56. — С. 10–38.
5. Грабов, В.М. Термоэлектрические и термоэлектрокинетические явления в водных растворах ионных соединений / В.М. Грабов, А.А. Зайцев, Д.В. Кузнецов // Термоэлектричество (Институт термоэлектричества Национальной академии наук и Министерства образования и науки Украины, Черновцы). — 2010. — № 1. — С. 43–52.
6. Зорькин, Л.М. Геохимия газов пластовых вод нефтегазоносных бассейнов / Л.М. Зорькин. — М.: Недра, 1973. — 224 с.
7. Карцев, А.А. Основы геохимии нефти и газа / А.А. Карцев. — М.: Недра, 1978. — 279 с.
8. Путиков, О.Ф. Струйные ореолы рассеяния тяжелых металлов нефтегазовых месторождений и их использование при оценке параметров залежей / О.Ф. Путиков, С.А. Вешев, Н.А. Ворошилов, С.Г. Алексеев, Вэн Байхун, Чжоу Цзыюн // ДАН. — 2000. — Т. 370. — № 5. — С. 668–671.
9. Путиков, О.Ф. Геоэлектрохимические методы при поисках нефтегазовых и рудных месторождений / О.Ф. Путиков, Е.Г. Маргович, С.А. Вешев, Н.А. Ворошилов, С.Г. Алексеев, М.Б. Штокаленко // Записки Горного института. — 2005. — Т. 162. — С. 50–54.
10. Штокаленко, М.Б. Физико-химические условия миграции метана в обводненных породах / М.Б. Штокаленко, Н.А. Ворошилов, О.Ф. Путиков // Российский геофизический журнал. — 2004. — № 33–34. — С. 12–19.

© Коллектив авторов, 2018

Штокаленко Михаил Бранкович // mikhelshtokalenko@rambler.ru
Алексеев Сергей Георгиевич // sga49@mail.ru
Ворошилов Николай Александрович
Сенчина Наталия Петровна // n_senchina@inbox.ru
Шаткевич Станислав Юльянович // s.shatkevich@geolraz.com

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 555.3.06

Корнева Р.Г. (ГИН РАН)

БАРОМЕТРИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПОДТОПЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ БЕЗНАПОРНЫМИ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

*Подтопление сооружений — актуальная задача гидро- и инженерно-геологических исследований, имеющая важное народно-хозяйственное значение. В статье рассматривается барометрический аспект его формирования, не рассматривавшийся ранее, тем не менее позволяющий по-новому подойти к более полному пониманию причин формирования урovenной поверхности безнапорных подземных вод, причем не только в нарушенных, но и в естественных условиях. Сделанные наблюдения и выводы заставляют пересмотреть теоретические основы динамики подземных вод, подойти к другим модельным представлениям о формировании их урovenной поверхности и ее трансформации в нарушенных условиях и взаимоотношениях с напорными водоносными горизонтами. **Ключевые слова:** подтопление сооружений, безнапорные подземные воды, капиллярная кайма, атмосферное давление, зона аэрации, избыточное питание.*

Korneva R.G. (Geological Institute of RAS)
BAROMETRIC ASPECT OF FLOODING OF CONSTRUCTIONS OF NON-PRESSURE UNDERGROUND WATERS

*Flooding of buildings is an ongoing challenge hydro-geological and engineering-geological studies, an important economic value. The article is not formation aspect of his barometric observed earlier, however, allows for a new approach to a better understanding of the causes of urovennoj surface of pressurized groundwater, not only in disturbed, but also in vivo. Made observations and conclusions are forced to review the theoretical basis of groundwater dynamics, create new model ideas about shaping their urovennoj surface and its transformation in disturbed environments and relationships with pressure aquifers. **Keywords:** flooding of constructions, non-pressure groundwater, capillary fringe, atmospheric pressure, the zone of aeration, over-nutrition.*

Процессы подтопления сооружений известны повсеместно. В числе основных причин этого явления было принято дополнительное питание грунтовых вод за счет хозяйственной деятельности. В 1980-е годы в процессе строительства Атоммаша и Ростовской АЭС в г. Волгодонск было выявлено, что утечки из коммуникационных сетей, поливы и другие по-



Рис. 1. Здание, разрушившееся вследствие подтопления в процессе строительства (фото автора)

следствия хозяйственной деятельности не всегда имели место, в то время как подъем уровня грунтовых вод начинал происходить на стадии строительства при отсутствии утечек. Это было выявлено при случаях деформации строящихся зданий, их креном, вплоть до разрушения (рис. 1), расхождением рельсов строительного крана в промзоне Атоммаша. Масштабы события измерялись сотнями случаев [5], а вода поднималась с глубин, которые всегда считались безопасными. Проблема требовала безотлагательного изучения в связи со значимостью сооружаемых объектов. В результате силами Ростовского ГУ, Волгоградской экспедиции, ВСЕГИНГЕО и других организаций были выполнены съемочные работы с детальным изучением просадочных и фильтрационных свойств пород зоны аэрации и субстрата. Для этого реализованы такие методы изучения, как: наливки в котлованы и шурфы по методике ВСЕГИНГЕО, геофизические (ВЭЗ), каротажные, лабораторные, в ограниченном объеме ландшафтные методы. Проблема изучается до настоящего времени ФГУП «Гидрохимический институт», Ростов-на-Дону [5], Томским ПТИ, Воронежским ГУ и др.

Данные, полученные в результате перечисленных работ, не дали полного ответа на поставленные вопросы. Даже такие натурные методы изучения просадочности и фильтрационных свойств пород, как наливки в котлованы (моделирующие реальную обстановку) не показали высоких значений, а лишь высокую скорость растекания воды из котлована с нарастанием минерализации воды по потоку. Кроме того, не удалось выделить участки наиболее подверженные просадочности вне застройки, что наводит на мысль, что активизация ее связана именно с влиянием сооружения. Тем более, что подь-

ем уровня подземных вод происходит резко на большую величину, когда еще нет утечек, поливов, аварий и других причин, с которыми традиционно связывается подтопление.

Подтопление сооружений водами природного и антропогенного происхождения наносит народному хозяйству огромный ущерб, размеры которого еще не проявились в полном объеме, поскольку нередко сопровождается разрушением зданий, их деформацией и требует дополнительных затрат на восстановление и борьбу с этими явлениями. Новое мас-

штабное строительство, активизировавшееся в последние годы, изношенные трубопроводы старых поселений, участвовавшие случаи природных наводнений усиливают актуальность проблемы и требуют повышенного внимания.

Мониторинг территории повсеместно констатировал подъем уровня грунтовых вод, причем он представлял собой скачок от 3 до 30 м под сооружениями и оставался там в виде куполов, не растекаясь при этом, что противоречит законам фильтрации в гидрогеологии. Если при условии эксплуатации зданий явление подтопления практически не вызывает вопроса о его причинах, то в условиях строящихся зданий этот вопрос до настоящего времени остается без ответа. Применяя формально-логический подход и метод аналогий, предшествующих всем известным процессам познания природной среды, мы выдвинули свою версию подтопления сооружений. Прежде чем приступить к изложению своей версии мы должны были убедиться, что она ранее не рассматривалась в существующих научных исследованиях.

Проблема подтопления не нова и изучалась в последние годы (около 40 лет) различными организациями (ПНИИИС, ВСЕГИНГЕО, ВНИИ ВОДГЕО,

Последствия подтопления застройки

№№ п/п	Причины подтопления	Последствия (примеры)
1	Подъем уровня подземных безнапорных вод с потерей несущей способности пород основания	1. Опрокидывание здания (элеватор в Норс-Трансконе в Канаде, 1913 г. [7]). 2. Разрушение зданий в г. Волгодонск (1984 г.) [1], в п. Топар, Карагандинская обл. (1987 г.). 3. Провал здания под землю (дом в Москве на улице Б. Дмитровка, 1998 г.). 4. Крен здания Пизанской башни. 5. Деформация и подвижки конструкций зданий, трещинообразование (повсеместно).
2	Оползания и оплывы берегов, влияние искусственных акваторий, естественные наводнения	1. Заблачивание прилегающих территорий, оползни на склонах. 2. Снос моста через р. Peace River в Канаде, 1957 г. [17]. 3. Мгновенный оползень объемом 0,25 км ³ в водохранилище Вайонт в Италии вызвал наводнение в 5 селениях и гибель 2000 человек, 1963 г. [17].
3	Провалы в основаниях фундамента за счет дренажных работ	Образование пустот под фундаментами и дорожными покрытиями

Томский ПТИ, институт Гипромет, МГУ, РГГРУ, Ростовский гидрохимический институт), известными в гидрогеологии и инженерной геологии специалистами, среди которых С.К. Абрамов, Е.С. Дзекцер, Р.А. Смирнов, В.И. Богданов, А.Ж. Муфтахов, В.К. Попов, В.И. Сологаев, А.А. Коноплянцев, С.М. Семенов, В.Н. Чубаров, Г.К. Бондарик, А.И. Уемов, О.В. Тюменцева, Е.Н. Тихомиров и др. Результаты изложены в монографиях [8, 10], диссертациях [4, 6, 7, 8, 11], в многочисленных статьях [1, 2, 5, 12] в СНИПах [9]. Вопрос активно обсуждался в 1980-е годы, затем произошел некоторый спад, в 2000-х годах интерес возобновился, что нашло отражение в публикациях, отображающих территориальные аспекты [2, 7, 10].

Исследования выполнялись на территориях промплощадок КАМАЗа, на горно-обогатительных и промышленных предприятиях в г.г. Марганец, Уфа, Волгодонск, п. Топар (Карагандинская обл.), г.г. Омск, Томск, Москва, Санкт-Петербург, в разных странах. Последствия подтопления застройки частично описаны в работах В.И. Сологаева [10] и дополнены автором (таблица).

В процессе исследований подтопления сооружений ставились задачи:

1. Установить причины подтопления;
2. Охарактеризовать следствия;
3. Создать типовые модели процесса;
4. Разработать методы прогнозных расчетов подъема уровней подземных вод с выявлением наиболее уязвимых для подтопления ландшафтов и типов пород;
5. Обосновать способы борьбы с подтоплением.

«Строительное освоение территорий и эксплуатация зданий, сооружений и других объектов, расположенных на слабопроницаемых грунтах, **практически повсеместно сопровождаются накоплением влаги в толще грунтов и подъемом уровня грунтовых вод даже в тех случаях, когда до начала освоения территории грунтовые воды вообще отсутствовали**» [9] (утверждение, что «грунтовые воды вообще отсутствовали» некорректно, по-видимому, имеется в виду положение грунтовых вод ниже зоны влияния сооружения — *примечание автора*). Такой процесс называется подтоплением (или техногенным подтоплением). Он возникает вследствие нарушения природного динамического равновесия в водном балансе территории. Эти нарушения возникают в результате практической деятельности человека и на застраиваемых территориях обычно развиваются в две стадии — при строительстве и эксплуатации, особые формы приобретают при ликвидации объекта и рекультивации территории.

Под подтоплением понимается **положительный дисбаланс питания и разгрузки грунтовых вод, возникающий вследствие застройки территории и деятельности построенных объектов** [11]. При этом происходит повышение уровня грунтовых вод, изменение состава грунтовых вод, их агрессивности, их температурного и конденсационного режима, условий питания и разгрузки, взаимоотношений с атмосферой, фильтрационных и прочностных свойств пород основания с из-

менением их несущей способности. В данном определении «дисбаланс» не есть подтопление, а лишь его причина. Таким образом, было бы правильно понимать под **подтоплением подъем уровня подземных вод под сооружением** в процессе его строительства, эксплуатации и ликвидации.

1. Основные причины подтопления рассматривались и изучались в соответствии со стадиями строительства, эксплуатации (подробно рассмотрены практически во всех приведенных публикациях) и ликвидации сооружений [9]:

1.1. На стадии строительства сооружений подъем уровня подземных вод как известно вызывается: изменениями динамики поверхностного стока при планировке местности, сооружением котлованов и траншей, засыпкой естественных дрен, сооружением барражей и противофильтрационных экранов, сведением естественного почвенно-растительного покрова, продолжительностью земляных работ, сооружением фундаментов и дренажных систем, в отдельных случаях укреплением прочностных свойств, а также климатическими условиями, способными привести к скопленению воды в выемках.

1.2. На стадии эксплуатации сооружений в составе причин, вызывающих подтопление, называются главным образом: утечки из коммуникационных сетей, полив, мойка, статическое и динамическое давление на породы основания, барраж потока грунтовых вод глубокими фундаментами, изменения тепло-влажностного режима под зданиями, изменение фильтрационных свойств в породах основания и в грунтах обратной засыпки, инфильтрация воды из пожарных прудов, отстойников, очистных прудов и т.д. Все они и в совокупности, и по отдельности создают условия для избыточного питания грунтовых вод, вызывающего подъем их уровня под сооружениями [4]. В качестве причин подтопления в практике известно углубляющее влияние близ лежащих водохранилищ, каналов, отстойников, полей фильтрации, гидрозолоотвалов (рис. 2).

1.3. На стадии ликвидации сооружений в составе причин подтопления, точнее повышения уровня грунтовых вод, следует называть скопление атмосферных осадков в отрицательных антропогенных формах релье-



Рис. 2. Гидрозолоотвалы КАТЭКа (фото автора)

ефа, оставленных после разработки месторождений (рис. 3), перераспределение поверхностного стока за счет перепланирования территории и отсутствия рекультивационных мер, сведение с последующим восстановлением естественного растительного покрова и биоценоза на нарушенных территориях.

Среди факторов подтопления выделяют активные и пассивные (естественные и искусственные) [9]. Сложность изучения определяется взаимозависимостью различных стадий события, которое протекает в полиобъектной среде и развивается каскадно.

На всех стадиях функционирования сооружений в отдельных случаях в качестве причин, провоцирующих подтопление, рекомендуется учитывать тектоническую обстановку территории, наличие зон трещиноватости, положительные и отрицательные подвижки участков, их раздробленность разломами регионального уровня [12], которые отличаются повышенной обводненностью и антропогенные процессы, такие как наведенные землетрясения, изостатические прогибы и компенсационные поднятия, характерные для городских агломераций, изменяющие режим поверхностного и подземного стока [1]. Территория, рассматриваемая в начале статьи, находится на стыке трех структур: Воронежской антеклизы, Вала Карпинского и Прикаспийской синеклизы, что можно принять как неустойчивое ее состояние в тектоническом плане.

Основным **следствием процесса подтопления** принято считать подъем уровня подземных вод, сопровождающийся просадками грунта, провалами, заболачиванием, засолением пород (дополнительно удерживающих влагу); потерей несущей способности грунтов оснований и, как следствие, разрушениями зданий (рис. 1, табл.).

Масштаб подтопления зависит от габаритов, геометрии, технологических особенностей сооружений, плотности застройки (для агломераций), особенностей гидротехнических и коммуникационных сетей, аварийных ситуаций и естественных гидрогеологических условий.

Типовые **модели подтопления** разрабатывались с учетом вариантов строения гидрогеологического раз-



Рис. 3. Антропогенные формы рельефа КАТЭКа (Назарово, фото автора)

реза, динамики грунтовых вод. Расчетные схемы процесса подтопления создавались на основе главной причины (как считалось) — формирование избыточного питания подземных вод [4, 11], строение разреза (одно-, двух-, трехслойное), фильтрационно однородные и фильтрационно-неоднородные пласты, граничные условия водоносного пласта, изменения в естественном режиме подземных вод, барражирование и изменение направлений естественного подземного потока [8]. При этом отмечены некоторые трудности, связанные с неопределенностью начала поступления дополнительного питания, формы очага, а также временной изменчивости инфильтрации с технологическими условиями наблюдения за изменением уровня воды под сооружением. Тем не менее, созданы справочные материалы [9], отображающие изменение величин поверхностного стока при застройках, величины утечек из коммуникационных сетей застроек промышленного и гражданского назначения, которые носят усредненно-приблизительный характер, установленный при некоторых допусках с использованием метода последовательных приближений.

Большая роль в формировании уровенной поверхности безнапорного водоносного горизонта принадлежит структуре капиллярной каймы, которая трансформируется под сооружением в сторону сужения капилляров, способствуя дополнительному подъему в них уровня воды. Высота поднятия (опускания) жидкости в капилляре обратно пропорциональна его радиусу. В тонких капиллярах жидкость поднимается достаточно высоко. Так, при полном смачивании вода при известном давлении в капилляре диаметром 10 мкм поднимается на высоту $h \approx 3$ м. Капиллярные явления играют большую роль в природе и технике. Например, влагообмен в почве и в растениях осуществляется за счет поднятия воды по тончайшим капиллярам. На капиллярности основано действие фитилей, впитывание влаги бетоном и т.д.

Расчетные схемы, применяемые для прогнозных оценок процессов подтопления застроенных территорий, достаточно подробно изложены в СНиПах [9] и широко используются на практике. Все они основаны на примерных величинах, составляющих дополнительное питание грунтовых вод за счет утечек, поливов, фильтрационных свойств пород основания и т.п.

Зафиксированы максимальные скорости подъема уровенной поверхности на участках территории Омской области, сложенных лессовидными суглинками элювиально-делювиального генезиса. Минимальная скорость отмечена на застроенных территориях, сложенных аллювиальными породами. Стабилизация подъема уровенной поверхности наблюдалась в течение 4–6 лет [12].

Способы борьбы с подтоплением сооружений основаны на прогнозных оценках подъема уровенной поверхности подземных вод и сводятся в основном к снижению ее отметок до начального состояния. При этом применяется: дождевая канализация, противофильтрационные завесы, сохранение естественного

подземного стока, вентиляция и гидроизоляция подземных частей сооружения; откачки скапливающихся под фундаментом и в подвалах масс воды, дренаж, конструктивные особенности фундаментов и подвальных помещений и коммуникационных сетей; выбор геометрии и высоты фундамента и его расположение с учетом естественных направлений потоков водоносного горизонта. С помощью выбора оптимальной ориентировки свайного фундамента по отношению к направлению фильтрационного потока подъем уровня снижается в 2 раза [8].

Результаты произведенных наблюдений, расчетов и прогнозов, безусловно, являются ценным материалом, имеющим научное и практическое значение, и в ряде случаев могут применяться как основные, но их анализ показывает, что **одна из главных причин подъема уровня подземных вод под сооружениями остается до конца непознанной и неизученной**. Этот вывод подтверждается следующими положениями, ставящими под сомнение доминантную роль избыточного питания грунтовых вод:

1. Подтопление сооружений происходит всегда независимо от: начального положения уровня подземных вод; климатических условий, определяющих величину инфильтрационного питания и разгрузки через испарение; гидродинамических характеристик безнапорного водоносного горизонта, проницаемых свойств пород зоны аэрации и водовмещающих слоев, их литолого-петрографических особенностей и засоленности; величин нагрузки на основание сооружений; объема и состава поступающих антропогенных утечек [4, 8, 11].

2. В случаях подъема подземных вод на стадии строительства при отсутствии коммуникационных утечек (Волгодонск) под асфальтовыми и бетонными покрытиями, при гидравлической изоляции фундаментов [1]. Отмечался подъем уровня в линзах подземных вод в аридной зоне после дождя, в то время как зона аэрации оставалась сухой (из устного доклада д.г.-м.н. В.Т. Дубинчука, ВСЕГИНГЕО, 1984 г.).

3. Борьба с подтоплением с помощью дренажа не всегда приводит к желаемым результатам, обеспечивая лишь временные перерывы в подтоплении [4].

4. Скорость подъема и положение установившегося уровня воды имеет тенденцию к стабилизации, не зависящей от непрекращающегося избыточного питания, динамики антропогенного воздействия и вариантов сочетания природных и техногенных условий [27].

5. Количественные характеристики утечек и величин подъема уровня не являются четко коррелируемыми величинами [10].

6. Формирующиеся под сооружениями водоносные горизонты представляют собой купола с высокими градиентами уровня по периферии, поднимаясь в центральной части с 30 м до критических 3-х, не растекаясь при этом, противореча существующим представлениям о законах фильтрации, ее причинах и следствиях.

Перечисленные аргументы показывают, что основные, а может быть и главные причины подтопления сооружений, как и геометрия поверхности безнапорных

вод и в естественных условиях до конца не выявлены и не изучены. При таком положении дел прогнозирование и моделирование процессов подтопления с использованием традиционных гидродинамических расчетов (без учета рассматриваемых в статье причин) может оцениваться как недостаточно корректное, как и способы борьбы с подтоплением, разработанные на их основе.

Изучение подтопления рассматривалось традиционно по схеме: одна причина (избыточное питание при коммуникационных утечках) — одно следствие (подъем уровня). Естественно весь получаемый фактический материал как бы подтверждал правомерность ее существования и служил обоснованием борьбы с подтоплением с помощью дренажа и гидроизоляции.

В решении задачи используется ключевое определение **«грунтовые воды» и их главные свойства** (положение в пространстве, состав, динамика, режим). В определенном периоде времени понятие «грунтовые воды» было заменено «безнапорными подземными водами». Во всех случаях в отличие от всех других природных вод **«безнапорные подземные воды» — воды в пластах горных пород, ограниченные поверхностью, давление на которой равно атмосферному»** [4]. Отсюда следует, что **зависимость уровня поверхности безнапорных подземных вод от атмосферного давления** (неоднократно упоминается в определениях разных авторов) является весьма существенным признаком, обеспечивающим ее пространственную и временную изменчивость. Это никак в последующем не использовалось при изучении режима подземных вод, попавших в зону сооружения. Тем не менее, достаточно подробно изучено на примере напорных подземных вод с учетом значительных глубин влияния, их естественных вариаций в атмосфере, приливно-отливных явлений [3]. Приняв это условие как весьма существенное, можно прийти к выводу, что **уровень воды под сооружениями, как и вне их, зависит от величины атмосферного давления, и соответственно подъем уровня воды под сооружением может свидетельствовать о падении под ним атмосферного давления, т.е. возможном образовании под фундаментом некоторого разреженного пространства**.

Выдвигаемое предположение может вызвать возражение, так как конструкция сооружения, как и фундамента, не является герметичной и давление в подвале и снаружи конечно же должны быть равны, но выяснилось, что они различны, причем снаружи давление чуть больше (по наблюдениям автора приблизительно на 0,1–0,2 мм рт. ст.). Кроме того, под свайными фундаментами также отмечен процесс подтопления, правда в меньшей степени [8]. Следовательно, одной из причин подтопления может служить **падение атмосферного давления на поверхности безнапорного горизонта под сооружением** за счет того, что атмосферное давление с помощью здания или покрытия снимается с водной поверхности и передается на скелет породы. Другой причиной является то обстоятельство, что **за пределами сооружения оно остается прежним, т.е. более высоким**, за счет чего возникает дисбаланс между фрагментами воды под сооружением и за его предела-

ми, при котором вода из окружающего пространства вытесняется под фундамент, как бы всасывается и уже не вытекает, образуя купола с высокими гидравлическими градиентами. Этим явлением можно объяснить куполообразные формы уровенной поверхности с максимумами в центре сооружений, где атмосферное давление снижается на большую величину (в сравнении с ситуацией по периферии), давление на породы основания в центре тяжести максимально и максимальна вероятность разрушения здания (рис. 1, 4, 5).

Куполообразные скопления воды под сооружениями и покрытиями можно объяснить и тем, что по периферии его атмосферное давление сохраняет свое влияние больше, чем в центре, где оно в большей степени передается с воды на скелет пород основания (рис. 4.2).

Взаимосвязь положения уровня безнапорных подземных вод с атмосферным давлением до сих пор изучалась в основном для естественных условий, где она четко установлена. Эти данные приводятся в учебниках и в виде лекций на соответствующих сайтах и свидетельствуют, что колебания уровней составляют от 20–30 см до 1 м. Возможное изменение их под сооружениями практически не рассматривалось, хотя они все же имеются. Изучение этого явления могло бы дать дополнительную ценную информацию для составления прогнозов подтопления. Фиксировать барометрическую величину в процессе изыскательских и съемочных работ не представляет собой трудоемкую и затратную операцию. В данном случае можно воспользоваться методом аналогий, при котором, зная величину барометрической ступени на поверхности (1 мм рт. ст. на 11 м превышения [5]), можно предположить, что под фундаментом она составит десятки доли мм рт. ст., и может вызвать подъем или падение уровня воды на пропорциональную величину, какую? пока не выявлено. В том случае, когда безнапорный горизонт расположен на глубинах, измеряемых десятками метров, барометрическая разница составляет ощутимую величину. При ее нарушении реакция воды особенно заметна, когда уровень может подняться на десятки метров. Это было с удивлением отмечено на практике.

Таким образом, под сооружением формируется сложная система атмосфера-подземные воды-горные породы, в которой два компонента этой системы атмосфера-вода мобильны, а состав и строение породы играют опосредованную буферную роль, зависящую от ее способности трансформировать атмосферное давление, формировать кайму капиллярного поднятия и удерживать поступившее дополнительно количество воды. Процесс взаимодействия подземных вод с атмосферой в зоне капиллярного поднятия сложный, многовекторный, инерционный и зависит от того, в какой степени человек способен изменить проницаемую способность пород основания (пластовая, трещинная, поровая). Действия этих изменений временные и, несмотря на динамику избыточного питания, заканчиваются стабилизацией подтопления, но установившийся уровень всегда будет выше первоначального.

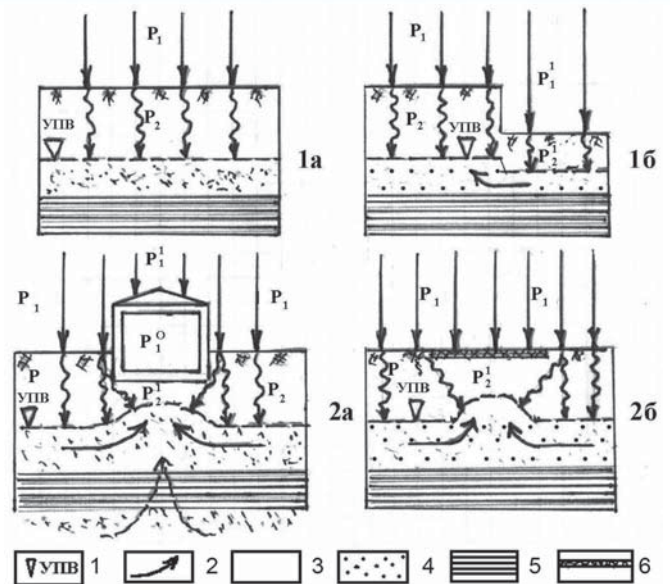


Рис. 4. Схемы взаимоотношений атмосферного давления (прямые стрелки P_1, P_1' — давление под крышей здания) с уровенной поверхностью безнапорных подземных вод (волнистые стрелки P_2): в естественных условиях: 1а — равнина, 1б — впадина; в нарушенных условиях: 2а — под зданием, 2б — под асфальтовым покрытием. 1 — уровень подземных вод; 2 — направление потока; 3 — зона аэрации; 4 — водоносный слой; 5 — водоупорный слой; 6 — асфальтовое покрытие

Выдвигаемая гипотеза позволяет объяснить подъем уровня в линзах подземных вод в аридной зоне во время дождя, при том что прямого проникновения осадков не отмечено. Атмосферное давление при этом падает и уровень воды соответственно повышается. Подъем уровня воды под асфальтовыми, цементными и другими покрытиями [1] при распашке почвенного покрова и при его зимнем промерзании, также можно объяснить ослаблением влияния на него атмосферы.

Промерзание почвы и субстрата в зимний период препятствует влиянию атмосферного давления на уровень подземных безнапорных вод и вызывает их подъем. Соответственно весенний подъем уровня подземных вод объясняется инфильтрацией при таянии снега, но промороженная почва не пропускает талые воды вглубь пока не оттаяет, и большая их часть идет на испарение и поверхностный сток, обеспечивая весеннее половодье и распутицу, что также препятствует взаимодействию атмосферы с подземными водами. Следовательно, теория инфильтрационного питания подземных вод в целом ряде случаев не может считаться единственно верной.

Формирование уровенной поверхности подземных вод в естественных условиях так же, как и в нарушенных, связано с атмосферой. Величина давления на водную поверхность обуславливается исходной величиной атмосферного давления, мощностью зоны аэрации, литолого-петрографическим составом и другими свойствами, определяющими ее проницаемость. Пространственная изменчивость мощности и литолого-петрографического состава зоны аэрации определяет характер связи атмосферного давления с подземными водами латерально, ослабляя его в суглинистых поро-

дах с большой мощностью и усиливая в песчано-галечных с малой мощностью. Соответственно в суглинистых породах обстановка должна больше способствовать подъему уровня воды, чем в песчаных. Особое значение этот факт приобретает в зоне континентального засоления гигроскопичных почво-грунтов, усиливающих эффект и более подверженных потере несущей способности при дополнительном увлажнении.

Формирование урвенной поверхности подземных вод на некоторой исследуемой площади происходит фрагментарно. В качестве фрагментов можно выделить участки с разной мощностью зоны аэрации при однотипном литологическом составе почвы, субстрата и водоносного слоя (рис. 5), либо с различным литологическим составом и постоянной мощностью.

В каждом таком фрагменте давление на поверхности грунтовых вод будет зависеть от временной вариации уровней [10], мощности и состава зоны аэрации, обеспечивающих силу давления атмосферы на уровень подземных вод. Соответственно меньшее влияние она оказывает во фрагменте с большей мощностью и меньшей проницаемостью. В последнем случае уровень подземных вод будет несколько выше, чем во фрагменте с меньшей мощностью зоны аэрации при прочих равных условиях. Например, на классическом разрезе мощность зоны аэрации уменьшается от водораздела к речной долине, а давление атмосферы на уровень воды в этом же направлении увеличивается. Соответственно латеральные перемещения, т.е. формирование потока подземных вод, зависит от разности барометрических состояний соседних фрагментов, в результате чего на их контактах могут сформироваться потоки, а их гидравлические градиенты направления и скорости течения могут являться не причиной, а следствием выравнивания барометрического состояния урвенной поверхности (рис. 5). Тогда, согласно выдвигаемой нами гипотезе, гидравлический градиент и фильтрационные свойства водовмещающих пород, применяемые при гидродинамических расчетах и моделировании в динамике подземных вод, имеют вторичное значение и не зависят от абсолютных отметок дневной поверхности и глубин залегания подземных вод, а скорее наоборот. Даже при отсутствии гидравлического градиента поток может быть направлен в фрагмент, где влияние атмосферного давления на урвенную поверхность меньше (по принципу «сообщающихся сосудов» и закона Паскаля). При этом общая картина урвенной поверхности на изучаемой территории может представлять собой муаровую модель.

Вмешиваясь в ход естественных процессов в конкретной точке гидрогеосферы с помощью какого-либо сооружения или действия, человек вступает во взаимоотношение с ней

(рис. 4), при котором провоцирует ее ответную реакцию, трудно предсказуемую по интенсивности. При этом не затронутая и затронутая человеком части гидрогеосферы вступают во взаимодействие с явным перевесом естественных сил, обеспечивающих состояние атмосферы, гидросферы и гидрогеосферы (глобальных, региональных, локальных и др.). Следствием этого взаимодействия являются изменения в режиме и динамике фрагмента водоносного горизонта, попавшего в зону антропогенного влияния. Кроме того, нарушения в безнапорных водоносных горизонтах могут активизировать их динамическую связь с напорными, вследствие чего борьба с подтоплением вообще становится особенно проблематичной и уровень поднимающейся воды может превышать дневные отметки, наблюдаемые на практике (рис. 4-2а).

Особенности взаимоотношений урвенной поверхности подземных вод с атмосферой, как и все другие природные условия, подчинены сезонным колебаниям, широтной и высотной зональности, в которых выделяются соответствующие ландшафтные зоны, где криолитозона занимает значительную площадь страны и имеет специфические гидрогеологические условия. В данном случае многолетнемерзлые толщи (слои) пород играют роль, аналогичную сооружениям, перекрывающим доступ атмосферы к подземным (межмерзлотным, подмерзлотным) водам. В результате здесь повсеместно наблюдается заболачивание, наледи, бугры пучения, которые также свидетельствуют о подъеме уровня подземных и поверхностных вод (при перекрытии их в зимний период ледовым панцирем).

В результате проведенных исследований, наблюдений, измерений и формального анализа процесса подтопления видится полезным при съемочных, изыскательских работах, наблюдениях за строящимися и существующими сооружениями фиксировать атмосферное давление и проводить корреляцию его значений с режимом урвенной поверхности безнапорных подземных

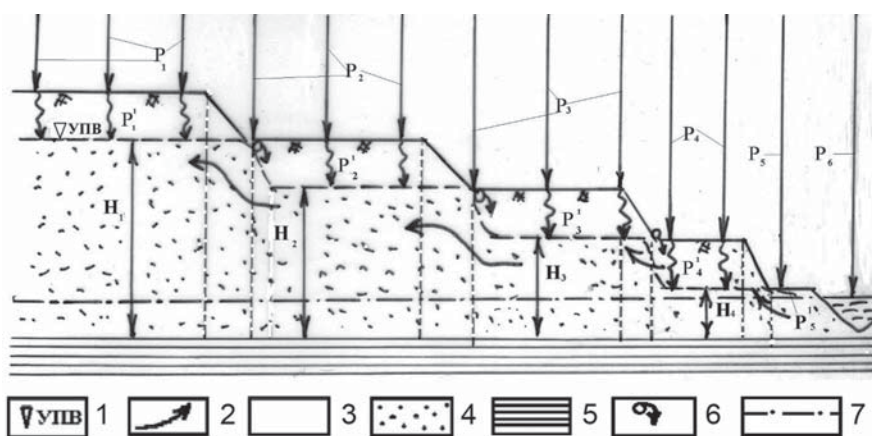


Рис. 5. Схема взаимоотношений атмосферного давления (прямые стрелки P) с урвенной поверхностью подземных вод (волнистые стрелки P') при переменной мощности зоны аэрации в естественных условиях; H — высота стояния водного слоя в блоках 1, 2, 3, 4. 1 — уровень подземных вод; 2 — направление потока; 3 — зона аэрации; 4 — водоупорный слой; 5 — возможное наличие родника; 6 — возможное наличие родника; 7 — теоретическое положение уровня подземных вод

вод. Такой подход, по мнению автора, позволит более полно изучить гидрогеодинамическую ситуацию на территории проектируемых, строящихся и эксплуатируемых сооружений, подойти к разработке более корректных методов прогноза и борьбы с подтоплением, моделированию гидрогеодинамических процессов в естественных и нарушенных условиях.

Выводы

Изучение и анализ существующих материалов, характеризующих процессы подтопления сооружений, позволили заключить следующее:

1. Причины, вызывающие подъем уровня безнапорных подземных вод под сооружениями, а также в процессе их строительства до конца не изучены.

2. Величина избыточного питания как фактор подтопления не является доминирующей, так как не всегда присутствует при подтоплении.

3. Атмосферное давление на поверхности безнапорных подземных вод признается их главным свойством, но остается без внимания при изучении и в прогнозных расчетах.

4. Изменение величины атмосферного давления под сооружениями и покрытиями является одной из главных причин изменения положения уровня подземных вод, вызывающей подтопление.

5. В естественных условиях давление атмосферы на безнапорные подземные воды также определяет барометрическое состояние и положение уровня. При разности барометрического состояния в соседних фрагментах между ними могут формироваться латеральные потоки, направленные в сторону меньшего влияния атмосферного давления.

6. Сделанные выводы позволяют по-новому подойти к теоретическим основам динамики подземных вод как в нарушенных, так и в естественных условиях.

7. Представленные материалы могут быть интересны специалистам широкого круга, занимающимися вопросами гидрогеологии, инженерной геологии, экологии, проектных и строительных организаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ананьев, В.П.* Анализ развития процессов подтопления на промышленных площадках города Волгодонска / В.П. Ананьев, Н.В. Вальяник // Проблемы инженерной геологии в связи с промышленно-гражданским строительством и разработкой месторождений полезных ископаемых: V Всес. конф. — Свердловск, 1984. — С. 146–150.
2. *Барцев, О.Б.* Режим грунтовых вод, масштабы и причины техногенного подтопления населенных пунктов юга Ростовской области / О.Б. Барцев, Д.Н. Гарькуша, А.М. Никаноров, Л.И. Минина, Е.А. Зубков // Геополитика и экогеодинамика регионов КВ № 9604 от 17.02.2005. — 2014. — Т. 10. — В. 2. — С. 415–422.
3. *Волейшо, В.А.* Закономерности формирования гидрогеодинамического режима подземной гидросферы под воздействием региональных внешних факторов: Автореф. дисс. д.г.-м.н. — М., 2006. — 41 с.
4. *Дзекцер, Е.С.* Госстрой России. Произв. и науч.-исслед. ин-т по инженерн. изысканиям в стр-ве (ПНИИИС) / Е.С. Дзекцер. — М.: ГУП ЦПП, 1999. — 52 с.
5. *Зубков, Е.А.* Динамика, причины и последствия техногенного подтопления территории города Волгодонска / Е.А. Зубков, Д.Н. Гарькуша, О.Б. Барцев, И.В. Иванов, Л.Ю. Дмитрик / Школа экологических перспектив: Матер. II молодеж. инновационного проекта. — Воронежский ГУ, 2013. — С. 127–132.
6. *Муфтахов, А.Ж.* Гидрогеодинамические основы прогноза подтопления промплощадок и фильтрационные расчеты защитного дренажа в сложных гидрогеологических условиях: Автореф. дисс. д.т.н. — М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1975. — 44 с.
7. *Нариманянц, Е.В.* Комплексная оценка изменений эколого-геологических условий лесовых территорий на примере Волгодонского промышленного узла Ростовской области: Дисс. к.г.-м.н. — Ростов на Дону, 2003. — 178 с.
8. *Покровский, В.Д.* Исследование процессов подтопления урбанизированных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере г. Омска): Автореф. дисс. к.г.-м.н. — Томск, 2015. — 215 с.
9. *СНИП 2.06.15-85.* Инженерная защита территории от затопления и подтопления. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 20 с.
10. *Сологаев, В.И.* Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве: Монография / В.И. Сологаев. — Омск: СибАДИ, 2002. — 416 с.
11. *Тихомиров, Е.Н.* Прогноз повышения уровня грунтовых вод на промышленных площадках путем статистической обработки данных режимных наблюдений / Е.Н. Тихомиров // Промышленное строительство. — 1973. — № 11. — С. 24–27.
12. *Тюменцева, О.В.* О развитии процесса подтопления в городе Омске // Тр. СибАДИ. — Омск: Сиб АДИ, 1999. — Вып. 3, — Ч. 1. — С. 67–73.

© Корнева Р.Г., 2018

Корнева Римма Георгиевна // rima@ginras.ru

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622.7

**Броницкая Е.С., Ануфриева С.И., Иванова М.В.,
Лаптева А.М. (ФГБУ «ВИМС»)**

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕ- РАБОТКИ ШЕЕЛИТОВЫХ РУД

Показана эффективность применения комбинированных схем обогащения для переработки шеелитовых руд различного типа. Установлено влияние вещественного состава и технологических свойств на выбор метода до-

водки черновых концентратов. Ключевые слова: шеелитовые руды, радиометрическая сепарация, флотация, реагенты, гидрометаллургия, схемы обогащения.

Bronitskaya E.S., Anufrieva S.I., Ivanova M.V., Lapteva A.M. (VIMS)

PRESENT SITUATION AND MAIN DIRECTIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY OF PROCESSING OF SHEELITE ORE

Showed efficiency of using combined schemes for the enrichment of scheelite ores of various types. Established the effect of the mineral composition and technological properties on the