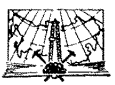
В. Е. АНПИЛОВ

ФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ



МОСКВА «НЕДРА»
1976

УДК 556.3.01

Анпилов В. Е. Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. М., «Недра», 1976, 183 с.

В книге показаны значение и роль гидрогеологии в научном обосновании обводнения грунтов под влиянием застройки территорий. Приведено описание геолого-гидрогеологических и климатических условий обводнения застраиваемых территорий, расположенных в различных районах СССР, а также рассмотрены режим и баланс грунтовых вод на застраиваемых территориях. Дана оценка влияния застройки на водный и солевой режим грунтов зоны аэрации. Освещены закономерности изменения инфильтрационного питания грунтовых вод в зависимости от глубины залегания их уровня и от потребления воды предприятием. Приведена классификация режима грунтовых вод и указаны общие закономерности их формирования на застраиваемых территориях. Рассмотрены причины обводнения застраиваемых территорий, приведены типизация их по степени потенциальной обводняемости и данные натурных наблюдений за эффективностью снижения уровня грунтовых вод под влиянием работы некоторых дренажей на подтапливаемых территориях; даны методы гидрогеологического расчета дренажей. Изложены гидрогеологические методы прогноза изменения уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях.

Книга рассчитана на широкий круг гидрогеологов, инженеров-геологов, строителей, работников проектных и научно-исследовательских институтов, использующих в своей деятельности данные о режиме грунтовых вод на застраиваемых территориях, методы его прогноза и расчета дренажей.

Табл. 31, ил. 64, список лит. — 130 назв.

А $\frac{20806-153}{043(01)-76}$ 24—76

© Издательство «Недра», 1976

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное развитие промышленного и гражданского строительства на слабопроницаемых грунтах во многих случаях сопровождается обводнением застраиваемых территорий, создающим угрозу для сохранности и долговечности зданий и сооружений. В связи с этим в последние годы вопросы обводнения застраиваемых территорий начинают приобретать определенное народнохозяйственное значение.

Наблюдения за развитием обводнения площадок промышленных предприятий и городов стали проводиться сравнительно недавно. Тем не менее к настоящему времени уже накоплен определенный материал по режимным наблюдениям, проведенным на застраиваемых территориях, который представляет как научный, так и практический интерес.

Поскольку обводнение застраиваемых территорий наблюдается в различных районах СССР с большим многообразием воздействия строительной и хозяйственной деятельности человека, возникла необходимость типизации условий, которые определяют режим грунтовых вод, а также установления основных общих закономерностей их формирования.

Важным вопросом в исследовании режима грунтовых вод на застраиваемых территориях является прогноз. Ввиду большой сложности их формирования на застраиваемых территориях испытываются значительные трудности в применении разработанных ранее методов прогноза режима грунтовых вод.

Данная книга является первым опытом изложения в литературе материалов по обобщению и анализу многолетних наблюдений за изменением режима грунтовых вод на застраиваемых территориях, и освещает ряд методических вопросов, связанных с данной проблемой. В ней развиваются методы прогноза подъема уровня грунтовых вод, рассматриваются годовые и многолетние балансы грунтовых вод на застраиваемых территориях. Сопоставляются расчетные и натурные величины снижения уровня грунтовых вод под влиянием работы некоторых осуществленных дренажей на подтапливаемых территориях, приводятся гидрогеологические методы расчета защитных дренажей с учетом величины инфильтрационного питания грунтовых вод.

При составлении книги автор широко использовал личные многолетние наблюдения и исследования на обводняемых промплощадках горнорудных предприятий и территориях жилых районов, а также обработал обширный фондовый материал различных организаций. В научном отношении результаты изучения формирования и прогноза режима грунтовых вод на застраиваемых территориях важны для решения проблемы предупреждения и защиты зданий и сооружений от подтопления.

Отдельные главы книги написаны: предисловие, главы I, II, III, IV, VI, заключение — В. Е. Аниловым, глава V — В. М. Чуйко и В. Е. Аниловым (примеры гидрогеологических расчетов дренажа).

КРАТКИЙ ОБЗОР ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБВОДНЕНИЯ ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

ИЗУЧЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Проблема обводнения территорий, занятых промышленными предприятиями и населенными пунктами, возникла давно. В конце XIX столетия в литературе стали появляться первые сведения о влиянии строительства на изменение гидрогеологических условий застраиваемых территорий. Одной из первых работ такого направления является книга И. Ф. Синцова [110]. Им на примере подтопления г. Одессы показано, что в естественных условиях грунтовые воды отсутствовали. Через 15—20 лет после постройки Одесского водопровода в четвертичных суглинках сформировался стабильный водоносный горизонт, имеющий в пределах города сплошное распространение.

В дальнейшем имели место случаи обводнения застраиваемых территорий в период промышленного строительства, начавшегося в 30-е годы, например на Украине, в Поволжье, Западной Сибири, Казахстане и других местах.

В конце 40-х годов С. К. Абрамовым [1] впервые было произведено обобщение накопленных сведений по явлению подтопления промышленных предприятий, разработано его научное определение и предложены мероприятия по предупреждению подтопления и борьбе с ним.

Первые сведения о деформациях жилых домов в г. Грозном, связанных с обводнением грунтов, приведены Б. М. Михеевым [92]. Геологический разрез территории поселка промыслов, где наблюдались деформации домов, слагают лёссовые грунты мощностью до 15 м. Ниже их залегают галечники речного типа, подстилаемые коренными глинами. Построенный в 1925—1926 гг. поселок имеет кирпичные здания не свыше двух этажей, водопровод и канализацию. Кюветы для отвода атмосферных осадков с территории поселка отсутствуют. После окончания строительства в 1928 г. в поселке не было ни одного дома, в котором стены и фундамент не имели бы трещин. При этом деформации начинались в углах зданий и, постепенно увеличиваясь, приводили к полному их разрушению.

Исследованиями Б. М. Михеева установлено, что деформации зданий произошли после прокладки водопроводно-канализационных сетей и вызваны утечками воды из них.

А. И. Сафарян деформации зданий и сооружений г. Тбилиси также связывает с авариями водопроводно-канализационных коммуникаций [108]. Начиная с 1936 г. после пуска Натахтарского

водопровода произошло более 50% деформаций зданий. При этом утечки из водопровода составляли 13—30%.

Изучение условий формирования грунтовых вод на застраиваемой территории г. Баку проводилось Р. А. Гаджиевым [45]. Геологическое строение территории характеризуется наличием отложений акчагыльского, апшеронского и четвертичного возраста. В пределах Бакинского амфитеатра встречены грунтовые воды, режим уровня которых тесно связан со строительством города. Во многих его районах глубина воды достигла 3 м.

Наиболее водообильными являются горизонты хазарских террас и породы, залегающие на контакте хазарских и апшеронских отложений.

В деформированных грунтах оползневых террас процессы фильтрации протекают быстрее, чем в не тронутых оползнями делювиальных отложениях. В результате этого подъем уровня грунтовых вод на оползневых террасах происходит интенсивнее, чем в неоползневых зонах.

На территории Баиловского оползня подъем уровня грунтовых вод привел к тому, что многие подвальные помещения оказались затопленными водой. Особенно быстрое повышение уровня грунтовых вод наблюдалось на территории Заиского оползневого массива, где происходили частые повреждения подземных сетей водопровода и канализации. В течение пятнадцатилетнего периода (1948—1963 гг.) уровень грунтовых вод на оползневых массивах повышался со средней скоростью 0,66 м/год.

По мнению Р. А. Гаджиева, подъем уровня грунтовых вод связан со сбросом нефтепромысловых и заводских вод, утечек воды из водопроводных и канализационных сетей, инфильтрации атмосферных осадков и конденсации влаги в грунтах зоны аэрации. Согласно его расчетам величина потерь воды из канализационной сети составляла 0,122 м³/сут, а из водопровода — 0,268 м³/сут.

Некоторые исследования по изучению причин подтопления площадок промышленных предприятий в условиях Запорожской степи Украины проведены И. Н. Кругловым [77]. Им замечено, что на не затронутых строительством площадях питание грунтовых вод мало зависит от атмосферных осадков. Последние в большей степени расходуются на испарение и сток, не обеспечивая достаточным питанием грунтовые воды. Однако в процессе планировочных и строительных работ, изменявших условия нормального поверхностного стока, атмосферные осадки приобретают заметную роль и становятся одним из основных источников первоначального накопления грунтовых вод.

Кроме того, И. Н. Круглов изучал на застроенных территориях юга Украины температурный режим грунтов. Результаты его наблюдений свидетельствуют, что температура грунтов под сооружениями на протяжении летнего периода на 3—5° ниже, чем вне сооружений. Это создает условия для движения водяных паров в сторону укрытых от солнечных лучей затененных площадей.

Н. Я. Денисовым рассмотрен вопрос о влиянии затенения территорий лесами и лесными полосами на водный режим грунтов в пре-

делах Северного Кавказа и юга Украины [55]. Согласно его наблюдениям температура грунтов на участках расположения леса и лесных полос на протяжении лета несколько ниже, чем в окружающих незатенных районах.

Ряд рассмотренных вопросов, посвященных изучению условий и причин обводнения площадок промышленных предприятий, приводится в работах [8, 39, 40, 43, 52, 107, 118].

По наблюдениям А. Я. Туровской подъем уровня грунтовых вод на промплощадках в некоторых случаях начинается еще в строительный период, но наиболее интенсивно протекает в эксплуатационный и связан с нарушением естественных условий поверхностного стока атмосферных вод, утечками из водопроводов и канализационной сети, потерями воды из брызгательных бассейнов, градирен и т. д. Кроме того, при бесконтрольной работе водозаборных колонок и кранов на поверхности земли скапливается вода, которая, инфильтруясь в грунт, служит дополнительным источником питания грунтовых вод [118].

По мнению А. Я. Туровской, механизм формирования грунтовых вод в лёссовых грунтах при наличии неглубоко залегающего водоупора представляется следующим образом. При постоянном поступлении воды в толщу пород граница ее распространения постепенно перемещается в глубину и в стороны. Прохождение первых порций воды вызывает повышение влажности лишь за счет пленочной влаги. Последующая инфильтрация увеличивает влажность до значения, соответствующего полевой влагоемкости, а затем и полной влагоемкости.

На основе данных режимных наблюдений, проведенных с целью изучения условий формирования грунтовых вод на площадках промышленных предприятий, А. М. Воскресенским предпринята попытка дать первую классификацию режима грунтовых вод [40]. Выделенные им три типа режима — первичный установившийся (природный), неустановившийся положительно — декомпенсированный, вызванный строительством промышленных сооружений, и вторичный установившийся компенсированный — последовательно сменяют друг друга.

Изучению причин обводнения промплощадки химического завода Казахстана посвящена работа В. Н. Галкина [43]. В период строительства фундаменты зданий и сооружений закладывались совершенно в сухих грунтах. При эксплуатации завода уровень грунтовых вод на его промплощадке значительно поднялся, что привело к нарушению нормальной работы отдельных агрегатов и некоторых цехов.

На основе изучения явления подтопления промплощадки завода предполагается, что подъем уровня грунтовых вод может быть вызван:

а) плохим качеством строительно-монтажных работ (отсутствие или незавершенность вертикальной планировки строительной площадки, оставление на длительные сроки незакрытыми котлованов и траншей, наличие недопустимых утечек из постоянных сетей водо-

провода и канализации, резервуаров, градирен, а также сброс конденсата и других промышленных вод в грунт);

б) нарушением естественных условий площадки (структуры грунта) при прокладке инженерных сетей и возведении фундаментов, устройстве асфальтированных дорог, отмосток и других покрытий.

О повышении уровня грунтовых вод на территории завода сельскохозяйственных машин, геологический разрез которой представлен лёссовыми грунтами, сообщается в работе В. П. Ананьева [8]. Если до строительства завода (1930 г.) глубина залегания уровня грунтовых вод колебалась в пределах 15—18 м, то после строительства и в период эксплуатации (1962 г.) она достигла 1—3 м. Средняя скорость подъема уровня грунтовых вод составляет 0,3—0,5 м в год.

Б. М. Дегтяревым описывается случай обводнения промплощадки комбината синтетического волокна, где основания для фундаментов представлены глинистыми грунтами, имеющими коэффициент фильтрации 0,095—0,96 м/сут [52].

До начала строительства этого комбината (1958—1961 гг.) уровень грунтовых вод был расположен на глубине 11—12 м. В 1965 г. после пуска первой очереди комбината произошло повышение уровня воды до 1,5—5,0 м от поверхности территории на участках, где расположены объекты с большим потреблением воды. В результате этого были затоплены подвальные помещения кислотной станции, тоннель и фундаменты, заложенные на глубине 4—5 м. Обследование комбината и других объектов промышленного района показало, что одной из причин подтопления является утечка технологической воды и промышленных стоков.

Большой рост промышленного строительства в одном из городов Азербайджана, территория которого сложена аллювиально-делювиальными лёссовидными суглинками мощностью 7—15 м, привел к повышению уровня грунтовых вод. Как показывают наблюдения Э. И. Сардарова и С. И. Кязимова [107], темпы повышения уровня грунтовых вод в разные периоды освоения территории различны. Так, если в период 1935—1940 гг. скорость повышения уровня воды составляла 0,01 м/год, то в 1941—1955 гг. она равна 0,24 м/год. С повышением уровня грунтовых вод возрастает и ее минерализация — с 40—42 г/л в 1935—1941 гг. до 50—52 г/л в 1960—1962 гг. Это объясняется сильной засоленностью верхних, ранее сухих, а теперь обводненных слоев, из которых происходит выщелачивание солей. Кроме того, приблизившиеся к дневной поверхности грунтовые воды, поднимаясь по капиллярам, интенсивно расходуются на испарение с одновременным накоплением солей в верхней части грунтов.

Изменение гидрогеологических условий промышленных площадок в значительной степени обусловлено нарушениями условий стока поверхностных вод как в период строительства, так и в процессе эксплуатации предприятий. Утечки из водопроводных и канализационных систем, неорганизованный сброс промышленных вод, неисправность ливневой сети, засорение канализационной системы и т. п.

являются главными причинами, способствующими подтоплению территорий промышленных площадок.

Сведения о повышении уровня грунтовых вод на площадках ТЭЦ приводятся в работах Б. Л. Горловского и Л. М. Шехтман. Обводнение таких промышленных площадок они объясняют главным образом утечками производственных вод [48]. Величина повышения уровня грунтовых вод зависит от геологического строения площадок — в глинистых грунтах она больше, чем в песчаных. В макропористых грунтах в связи с анизотропностью их фильтрационных свойств подъем уровня грунтовых вод происходит более интенсивно.

Причиной утечек производственных вод является низкое качество строительных работ, а в период эксплуатации — неправильное ведение водного хозяйства и несвоевременный ремонт сооружений и коммуникаций, несущих воду. Борьба с утечками чаще всего ведется слабо и не дает результатов. При утечках увеличиваются минерализация воды за счет таких компонентов, как SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Na^+, а также температура грунтовых вод. Основными очагами химического загрязнения грунтовых вод на площадке теплоэлектростанции являются химводоочистка и железобетонные каналы гидрозолоудаления, на участках расположения которых в грунт интенсивно проникают растворы солей высокой концентрации. Повышенное содержание сульфатов в грунтовых водах наблюдается и на участках, достаточно удаленных от сооружений, за счет вымывания легкорастворимых солей из грунтов.

О случаях подтопления городской территории и рабочих поселков сообщается в работах В. И. Бондаренко [30] и Ю. И. Панова [96]. Подъем уровня воды ими наблюдался в суглинках на территории г. Волжска, где за 13 лет он повысился на 10—12 м. Увлажнение грунтов на застроенной территории неравномерное: наибольшее под дорогами, в местах прохождения водонесущих коммуникаций, под зданиями и сооружениями, а также в обратных засыпках. Разница во влажности связанных грунтов в засыпках и естественном залегании достигает 11%.

По их мнению, обводнение суглинков связано со строительством города и обусловлено изменениями природного режима местности. Утечки производственно-бытовых вод, поливка дорог и зеленых насаждений, инфильтрация атмосферных вод через многочисленные открытые траншеи значительно увеличивают приходную часть водного баланса грунтов, а наличие тяжелых шоколадных глин на небольшой глубине препятствует инфильтрации воды.

П. Ф. Бабкин описывает случаи (вблизи г. Волгограда), когда грунтовые воды неожиданно появляются там, где о них сравнительно недавно ничего не было известно [25]. Обнаруживались они, как правило, по появившимся оползням, осадкам зданий, затоплению подвальных помещений или заболачиванию участка. Такие явления он объясняет затруднением поверхностного стока после застройки территории, а также тем, что асфальтовые покрытия и затененность строениями и деревьями резко уменьшают испарение. Вместе с этим увеличивается инфильтрационное питание за счет интенсив-

ного полива зеленых насаждений, утечек из водопроводов, канализационных коллекторов и таяния больших запасов снега, скапливаемых зимой внутри кварталов.

В. М. Капланом приведены примеры обводнения территорий тех предприятий, где утечки воды в грунт исключены. К ним относятся площадки хлебоприемных пунктов, расположенных в Казахстане, Алтайском крае и других местах [64].

Обычно на хлебоприемном пункте имеются элеватор и склады зерна. Водосборных или водопотребляющих сооружений нет, а водопроводная сеть местами отсутствует совсем либо представлена одним пожарным трубопроводом. До строительства складов и элеваторов грунтовые воды на их площадках отсутствовали или залегали на глубине 10 м и более. В период эксплуатации элеваторов и складов через разные промежутки времени (3—8 лет) наблюдались случаи подъема уровня грунтовых вод и связанное с этим подтопление подземных частей сооружений.

Вопросам режима влажности грунтов застраиваемых территорий посвящены статьи В. П. Ананьева [8], В. Е. Анпилова [14], Н. Я. Денисова [54], Б. П. Маркина [89], В. И. Пускова [99], Е. М. Рыжкова [105], А. А. Соколова [112], В. И. Федорова [120, 121], В. А. Лукина [86].

В. П. Ананьев показывает, что в процессе эксплуатации жилых зданий средняя величина влажности грунтов оснований повышается на несколько процентов, но остается ниже капиллярного насыщения. Полное водонасыщение могут иметь лишь локальные участки при значительных утечках воды из подземных водоводов. После ликвидации утечек влажность грунтов постепенно снижается и через 4—6 месяцев становится близкой к первоначальной.

По данным Н. Я. Денисова, неизбежность обводнения промышленных площадок обусловлена изменениями естественного режима влажности грунтов в период застройки территории. Наличие влаги в зоне аэрации он объясняет тем, что глинистые грунты, как и все капиллярно-пористые системы, обладают способностью всасывать влагу и удерживать ее в своих порах. Эта способность возрастает с уменьшением влажности грунта, понижением его температуры и увеличением содержания в нем солей.

Б. П. Маркиным [89] естественная влажность лёссовидных грунтов на незастроенной территории сравнивалась с влажностью этих грунтов под фундаментами рядом стоящих зданий, а также под отмостками и дорожным покрытием. Полученные результаты свидетельствуют о том, что влажность на закрытых строениями и покрытиями участках на 4—6% превышает влажность грунтов на незастроенных территориях.

Исследованиями и инструментальными наблюдениями, проводимыми Е. М. Рыжковым [105] в Волгограде, установлены главные причины вертикальных деформаций фундаментов зданий. Так, утечки воды из коммуникаций и искусственная подсушка грунтов явились причиной деформации для небольшого количества объектов. Самыми массовыми оказались случаи деформаций зданий вследствие колеба-

ний влажности в грунтовом массиве за счет изменения условий испарения и нарушения температурного равновесия грунтов основания после постройки сооружений.

Сведения о режиме влажности глинистых грунтов вблизи фундаментов построенных зданий в г. Хабаровске приведены в статье В. П. Федорова [120]. Опыт проводился им в течение трех лет на крутом склоне, исключающем застой атмосферных вод, и заключался в следующем. В шурф на глубину 2,5 м засыпался и утрамбовывался грунт, влажность которого составляла 17—23%. В дальнейшем двукратная раскопка через один и два года показала, что влажность грунта в шурфе никогда не приближалась к той, которую он имел в естественном сложении, а всегда была выше. В. И. Федоров [122] изучал также вопросы теории переноса влаги зоны аэрации на застроенных площадях, уделял внимание обратным засыпкам строительных котлованов как очагам обводнения.

Исследования В. А. Лукина показывают, что влажность грунтов под сооружением увеличивается неравномерно: на границе площади застройки испарение влаги больше, чем внутри ее [86]. Особенно значительно увеличивается влажность под средней частью больших сооружений. Накопление влаги под сооружением ведет к неравномерным осадкам.

Вопросы, связанные с изменением физико-механических свойств грунтов на строительных площадках в результате их обводнения, изучали З. П. Гавшина [44], Я. М. Резник [100], В. И. Крутов и др. [79], Н. Н. Круглов [78] и др.

По данным З. П. Гавшиной, на подтапливаемой промплощадке Саратовского химкомбината с 1949 по 1965 г. естественная влажность суглинков повысилась с 14—16 до 22—34%, а первоначально твердая консистенция их изменилась до пластичной и текучей. За это время увеличилась также объемная масса суглинков с 1,4—1,6 до 1,7—1,9 г/см^3. Обводнение суглинков вызвало в них просадки, которые привели к деформациям зданий.

В статье [129] изложены различные способы построения и расчета профилей просачивания воды в грунтах под открытыми и застроенными площадями в зависимости от наличия испарения или инфильтрации. В естественных условиях в грунтах авторы прослеживают две зоны: верхнюю мощностью до 2 м, подверженную влиянию сезонных изменений, и нижнюю, защищенную от влияния сезонного увлажнения и просыхания. На застраивающихся площадях меняется режим влажности грунтов в верхней зоне, происходят количественные изменения в балансе влажности. Авторами статьи [129] дается ряд формул и расчетов, вытекающих из уравнения Дарси, которые позволяют определить первоначальный профиль просачивания, а на его основе прогнозировать профиль просачивания после застройки.

Проблеме количественной оценки параметров подтопления промышленных площадок на основе анализа режима уровня грунтовых вод посвящена статья В. Е. Аннилова [21].

Принципы составления классификации территорий промышленных предприятий по степени их потенциальной обводняемости

заложены в работах С. П. Абрамова, Е. С. Дзекцера, З. П. Гавшиной [6], А. А. Колодяжной [72] и Б. П. Маркина [90].

Согласно принципам, приведенным в работах [6, 72], классификация территорий промышленных предприятий по степени их потенциальной обводняемости должна учитывать природные условия (физико-географические, геологические, гидрогеологические, геоморфологические), искуственные факторы обводнения, связанные со строительством и эксплуатацией предприятий, специфику производственного процесса (системы водоснабжения, количество водопроводящих коммуникаций, наличие водосодержащих емкостей), водно-технический баланс предприятия.

Б. П. Маркин предлагает все территории промышленных предприятий по их склонности к обводнению разделить на три группы: обводняемые, необводняемые и условно необводняемые.

К обводняемым он относит территории предприятий с мокрым технологическим процессом, геологические условия которых благоприятны для подтопления. К необводняемым — хорошо дренированные территории, сложенные из крупнообломочных грунтов или трещиноватых скальных пород, обладающих большой проницаемостью. Условно необводняемыми он считает территории, сравнительно хорошо дренированные и сложенные мелкими песками или слаботрещиноватыми скальными породами, водопроницаемость которых может обеспечить отток максимально ожидаемого количества инфильтрующейся воды.

Некоторые задачи по прогнозу подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях рассмотрены в работах Н. Н. Биндемана [28], Н. Н. Веригина [37], В. Е. Анпилова, В. М. Чуйко [16], В. К. Рудакова [91, 104], А. Ж. Муфтахова [93], Е. Н. Тихомирова [117].

Исходя из особенностей характера движения грунтовых вод на подтопляемых территориях, Е. С. Дзекцером получены уравнения, учитывающие гравитационно-упругий режим грунтовых вод и изменение напора по вертикали [57].

Ряд вопросов, связанных с организацией гидрогеологической службы на обводняемых площадках тепловых электростанций, изложены в работе Б. Л. Горловского и Л. М. Шехтман [49]. В частности, ими приведены некоторые примеры из опыта организации гидрогеологической службы на площадках тепловых электростанций и даны рекомендации по составлению проекта организации на них наблюдений за режимом уровня грунтовых вод.

В 1973 г. была издана коллективная работа Б. Л. Горловского, Б. М. Дегтярева, Е. С. Дзекцера, В. М. Каплана, А. А. Колодяжной, А. Ж. Муфтахова под общей редакцией С. К. Абрамова и И. Я. Пантелеева, посвященная методике изучения режима и баланса грунтовых вод на подтапливаемых промышленных площадках [102].

РАЗВИТИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В настоящее время при проектировании и строительстве зданий и сооружений недостаточно ведется учет изменения природных условий местности. Последствием этого являются создание ненормальных условий эксплуатации зданий и сооружений, развитие в них массовых разрушений и деформаций и сокращение их долголетия. В ряде случаев на ликвидацию последствий подтопления территорий затрачиваются значительные средства. Поэтому изучение изменения гидрогеологических условий и режима грунтовых вод на застраиваемых территориях имеет большое народнохозяйственное значение.

Изучение режима грунтовых вод на застраиваемых территориях осложняется рядом особенностей: куполообразной формой, образующихся водоносных горизонтов, неравномерным питанием и затрудненными условиями подземного и поверхностного стока.

Гидрогеология застраиваемых территорий тесно связана с инженерной геологией, поскольку обводнение грунтов вызывает ряд важных инженерно-геологических процессов. Претерпевают изменения физико-механические характеристики грунтов, проявляют себя их просадочные и набухающие свойства. В свою очередь, грунты основания, взаимодействуя со зданиями и сооружениями, вызывают в них появление деформаций и аварий.

Вместе с этим гидрогеология застраиваемых территорий связана также с инженерной защитой их от подтопления. В результате наличия на застраиваемых территориях ряда указанных выше гидрогеологических условий возникают затруднения при решении вопросов их предотвращения и защиты от подтопления грунтовыми водами.

Многолетний опыт показывает, что на застраиваемых территориях обводнению подвергаются главным образом слабопроницаемые грунты, обладающие во многих случаях фильтрационной анизотропией. Для таких грунтов в настоящее время совершенно недостаточно как эффективных способов их осушения, так и методов гидрогеологического расчета дренажа.

Недостаточная изученность причин и факторов изменения режима грунтовых вод на застраиваемых территориях,отсутствие обоснованных научных методов прогноза их обводнения, а также недостаточная разработанность средств защиты не дают возможности своевременно осуществлять мероприятия, предупреждающие возникновение подтопления зданий и сооружений.

С учетом вышеизложенного дальнейшие гидрогеологические исследования, связанные с решением проблемы обводнения застраиваемых территорий, должны вестись в следующих направлениях:

1. Сбор и обобщение фактических материалов по обводнению застраиваемых территорий, расположенных в различных природных и инженерно-хозяйственных условиях.

2. Разработка методики проведения режимных наблюдений на застраиваемых территориях с целью установления факторов подтопления и получения расчетных гидрогеологических параметров.

3. Разработка теории формирования грунтовых вод на застраиваемых территориях как научной основы прогнозов их подтопления.

4. Развитие методов оценки инфильтрационного питания грунтовых вод, необходимого для составления научных прогнозов подтопления застраиваемых территорий и обоснования защитных мероприятий. Особое значение приобретает определение величины инфильтрации за счет потерь воды из водопроводных и канализационных сетей и сооружений. Такая оценка необходима для выбора водозащитных мероприятий.

5. Разработка методов прогноза уровенного и температурного режима грунтовых вод и режима влажности грунтов зоны аэрации на застраиваемых территориях с привлечением аналитических методов, аналоговых и электронно-вычислительных машин (АВМ и ЭВМ).

6. Совершенствование методов прогноза изменения гидрохимического режима грунтовых вод на застраиваемых территориях во взаимосвязи с солевым режимом грунтов оснований и составом сбрасываемых производственных и хозяйственных вод на основе изучения солевого состава грунтов, решения дифференциальных уравнений, применения методов математического моделирования и т. д.

На основании изучения режима грунтовых вод представляется возможным установить многолетнюю изменчивость инфильтрационного питания грунтовых вод как основу для составления гидрогеологического прогноза подтопления застраиваемых территорий, выяснить механизм формирования грунтовых вод под влиянием метеорологических, гидрогеологических и искусственных факторов в целях обоснования мероприятий по предотвращению и защите от подтопления зданий и сооружений.

Значительный интерес представляет изучение процесса термовлагопереноса в зоне аэрации. Этот действующий процесс обусловливает дополнительное накопление влаги в грунтах оснований зданий и сооружений. От него зависят интенсивность, характер и режим обводнения грунтов застраиваемой территории. Данный вопрос требует скорейшего разрешения путем расширения теоретических разработок и организации полевых экспериментальных исследований.

Наряду с изучением режима грунтовых вод исследование баланса и динамики влаги в зоне аэрации на застроенных территориях позволит установить количественную связь между режимом грунтовых вод и динамикой влаги в зоне аэрации, что важно для расшифровки процесса питания грунтовых вод на площадях с различной плотностью застройки.

Существенное значение при изучении инфильтрации имеют водно-физические свойства грунтов, особенно при изучении питания грунтовых вод зоны недостаточного увлажнения. Анализ режима влажности зоны аэрации для оценки условий глубокого просачивания воды до уровня грунтовых вод не может быть полноценным без этих сведений о грунтах.

Теория формирования грунтовых вод на застраиваемой территории включает данные о ее литологическом строении, климатических, геоморфологических и гидрогеологических условиях, характеристику гидрогеологических параметров водосодержащих пород, количественную характеристику инфильтрационного питания грунтовых вод, сведения о характере застройки, специфике производственного процесса и расходе воды предприятием на единицу его площади, взаимосвязь грунтовых вод со сбрасываемыми водами и т. д.

Важной особенностью такой теории формирования грунтовых вод является то, что она должна опережать проектирование строительства зданий и сооружений. Поэтому наряду с заблаговременной организацией проведения гидрогеологических исследований на проектируемой к застройке территории изучаются вопросы формирования грунтовых вод на аналогичной застроенной территории.

В последние годы решение некоторых из указанных выше задач по рассматриваемой проблеме включено в планы ряда научно-исследовательских и проектных организаций. В частности, в исследованиях принимают участие институты ВНИИ ВОДГЕО, ПНИИИС, ВИОГЕМ, Госниисибпромзерноопроект, Гипроцветмет и др.

Ниже приведены результаты многолетних исследований автора, выполненных в институте ВИОГЕМ и посвященных изучению условий обводнения, формирования режима и баланса грунтовых вод застраиваемых территорий, главным образом промплощадок горнорудных предприятий, расположенных в различных климатических зонах.

УСЛОВИЯ ОБВОДНЕНИЯ И РЕЖИМ ГРУНТОВЫХ ВОД ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

ЦЕНТР И ЮГ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

Промплощадка № 1

Физико-географические условия. Промплощадка № 1 расположена на Украине на водораздельном плато между тремя балками. В одной из балок сооружено хвостохранилище предприятия, а в другой — пруд для отдыха трудящихся. Размещение зданий и сооружений на промплощадке № 1 показано на рис. 1. Район представляет равнинную степь с общим незначительным уклоном к югу, расчлененную долинами балок и оврагов. Абсолютные отметки поверхности промплощадки № 1 колеблются от 157 до 130 м. Основной водной артерией района является река, которая протекает в 4—5 км к югу от него.

Климатические условия района промплощадки № 1 определяются расположением его в степной ландшафтной зоне. По данным многолетних наблюдений (1952—1972 гг.), средняя температура воздуха составляет +8,7° С. Самым теплым является июль, когда среднемесячная температура равна +22,1° С. Минимальная температура воздуха наблюдается в середине января — начале февраля.

Глубина промерзания почвы в среднем равна 0,8—1,0 м. Среднегодовое количество осадков за 1952—1972 гг. составляет 401,4 мм. Максимальное их количество (57,6 мм) наблюдается в июне, а минимальное (21,3 мм) — в марте. По отношению годовой суммы осадков к испаряемости территория промплощадки № 1 относится к районам с недостаточным увлажнением. Средняя многолетняя величина (норма) суммарного испарения с поверхности земли за год равна 490 мм [75].

Геологические и природные гидрогеологические условия. Геологический разрез промплощадки № 1 слагают четвертичные образования. Они представлены комплексом лёссовидных суглинков (рис. 2). В верхней части разреза залегают макропористые известковистые желто-бурые суглинки. Ниже их следуют темно-бурые гумусированные суглинки, имеющие ограниченное распространение, затем наиболее макропористые светло-желтые и палево-желтые суглинки, потом более плотные желто-бурые и темно-серые суглинки и второй слой палево-желтых суглинков. В основании комплекса суглинков залегают плотные красно-бурые суглинки, постепенно переходящие в глины. Общая мощность суглинков составляет 10—15 м.

В природных условиях в четвертичных образованиях грунтовые воды имели локальное распространение в виде разобщенных линз

небольшой мощности на глубине 10—12 м и более. Нижним водоупором их служат красно-бурые глины. Наиболее водоносными являются палево-желтые и палевые макропористые лёссовидные суглинки.

Питание грунтовых вод четвертичных образований происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков. По данным инженерно-гидрогеологических изысканий института ВИОГЕМ, коэффициент фильтрации лёссовидных суглинков изменяется от 0,02 до 1,07 м/сут

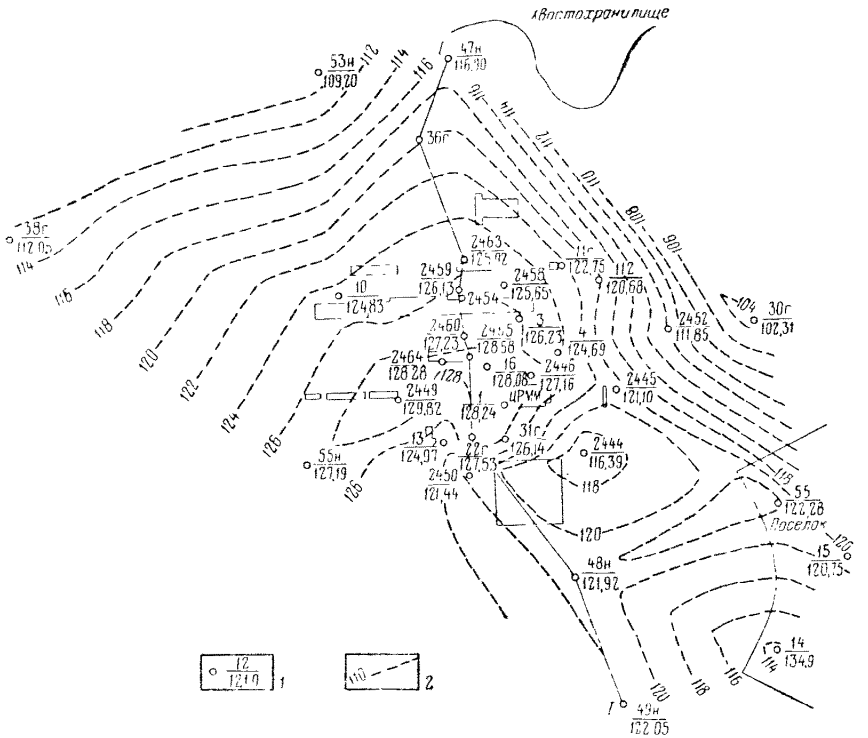


Рис. 1. План промплощадки № 1 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на май 1972 г.

и в среднем составляет 0,33 м/сут. С глубиной водопроницаемость их уменьшается.

Данные наблюдений свидетельствуют, что на территории расположения промплощадки № 1 в естественном режиме грунтовых вод в течение одного года, как правило, выделяются один подъем и один спад, которые незначительны по величине и приурочены соответственно к весеннему и осеннему времени. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод изменяется от 0,3 до 0,6 м, а глубина их залегания — от 10 до 15 м. В отдельные периоды кривые подъема и спада несколько осложняются за счет выпадения обильных атмосферных осадков или появления оттепелей в зимний период.

Водно-физические свойства суглинков. Естественная влажность лёссовидных суглинков с увеличением глубины до 10—12 м возрастает от 16,67 до 20,50%. Вместе с этим повышается их объемная масса в естественном сложении от 1,68 до 1,91 г/см³. Плотность суглинков составляет 2,70—2,72 г/см³, пористость 41,9—47,2%, коэффициент пористости — 0,67—0,90. В гранулометрическом составе их преобладает пылеватая фракция, содержание которой по отдельным образцам достигает 71%. Верхняя часть лёссовидных суглинков

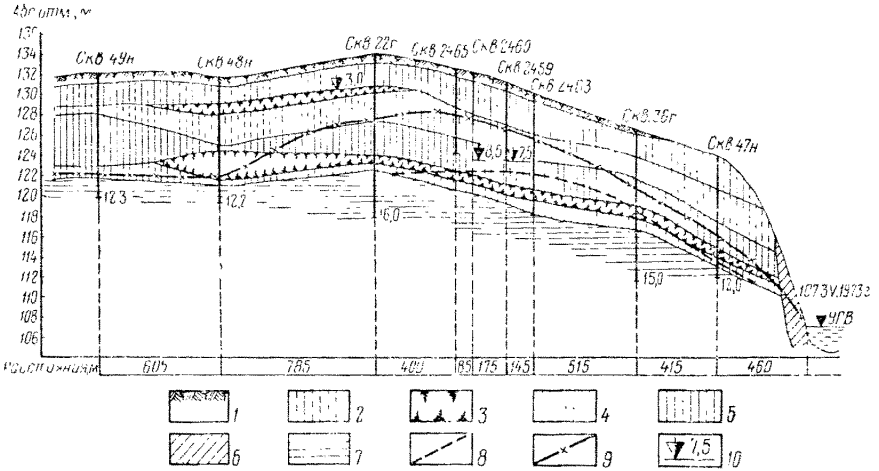


Рис. 2. Гидрогеологический разрез промплощадки № 1 по линии I—I.

1 — почвенно-растительный слой; *2* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *3* — погребенная почва; *4* — суглинок лёссовидный палево-желтый; *5* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *6* — суглинок красно-бурый; *7* — глина красно-бурая; *8* — уровень грунтовых вод после застройки территории на декабрь 1964 г.; *9* — то же, на май 1972 г.; *10* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

до глубины 5—6 м обладает различной степенью просадочности. Значение величины относительной просадочности изменяется от 0,01 до 0,047.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Нарушение природных гидрогеологических условий промплощадки № 1 связано со строительством горнорудного предприятия, которое осуществлялось в две очереди.

За период 1961—1964 гг. была введена первая его очередь, когда были построены основные объекты предприятия. В дальнейшем на промплощадке № 1 наряду с ростом числа зданий и сооружений увеличивалась также площадь бетонных и асфальтовых покрытий, в результате чего сокращалось влияние атмосферы на грунты зоны аэрации.

Общее количество воды, потребляемой только дробильной и обогатительной фабриками при работе первой очереди, возросло до 250 тыс. м³/сут. Увеличение водопотребления привело к росту потерь производственных и хозяйственных вод.

Таким образом, уже при строительстве и эксплуатации первой очереди предприятия произошли существенные изменения природных условий на промплощадке № 1. К концу 1964 г. на ней образовались два купола грунтовых вод, вершины которых были приурочены к местам расположения основных водопотребляющих цехов (рис. 3,*а*). Максимальная мощность водоносного горизонта в вершинах куполов достигала 2,87 м (скв. 2459), тогда как на других участках промплощадки № 1 она снижалась почти до нуля.

С 1965 по 1971 г. осуществлялось строительство второй очереди предприятия. Рост производительности предприятия привел к повышению потенциальной обводняемости его промплощадки. Количество воды, потребляемой основными цехами, превышало 1,2 млн. $м^3$/сут.

По мере развития второй очереди предприятия мощность обводнения лёссовидных суглинков увеличивалась. Наиболее интенсивно происходил подъем уровня грунтовых вод по-прежнему на участках расположения объектов, потребляющих или содержащих воду в значительных количествах.

Так, в первом полугодии 1965 г. максимальное повышение уровня грунтовых вод (2,62 м) наблюдалось в скв. 2455 (рис. 3, *б*), где расположены подземные емкости с технической водой. Во второй половине 1965 г. и первой половине 1966 г. отмечался интенсивный прирост мощности водоносного горизонта в скв. 2460 (3,10 м) и в скв. 2462 (3,25 м), в районе расположения которых находятся корпус обогащения и склады концентратов (рис. 3, *в*).

Последующий период характеризуется сниженными темпами роста мощности водоносного горизонта в этих местах. Например, с 16/VII 1966 г. по 16/IV 1967 г. уровень грунтовых вод поднялся в скв. 2460 на 1,67 м, в скв. 2462 — на 0,87 м и в скв. 2455 — на 1,17 м (рис. 3, *г*).

С наибольшей интенсивностью (2,3—3,1 м/год) происходил подъем уровня грунтовых вод в интервале глубин 11—5 м. С глубины 5 м скорость подъема уровня воды падала до 0,2 м и менее. По мере удаления от участков с расположенными на них объектами с большим потреблением воды скорость подъема уровня грунтовых вод также уменьшалась. Максимальные скорости подъема уровня воды наблюдались в течение трех-четырех лет.

Анализ карт подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 (см. рис. 3) показывает, что основными источниками их питания являются утечки производственных и хозяйственных вод, о чем наиболее наглядно свидетельствует постоянное наличие куполов подъема уровня вод в районе расположения тех объектов, которые в больших количествах потребляют воду.

В мае 1972 г. поверхность грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта на промплощадке № 1 имела сложную по очертанию куполообразную форму (см. рис. 1). Самые высокие ее отметки были приурочены к центральной части промплощадки № 1. В удалении от нее они снижались на 15—20 м и более. К этому времени глубина залегания уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 уменьшилась

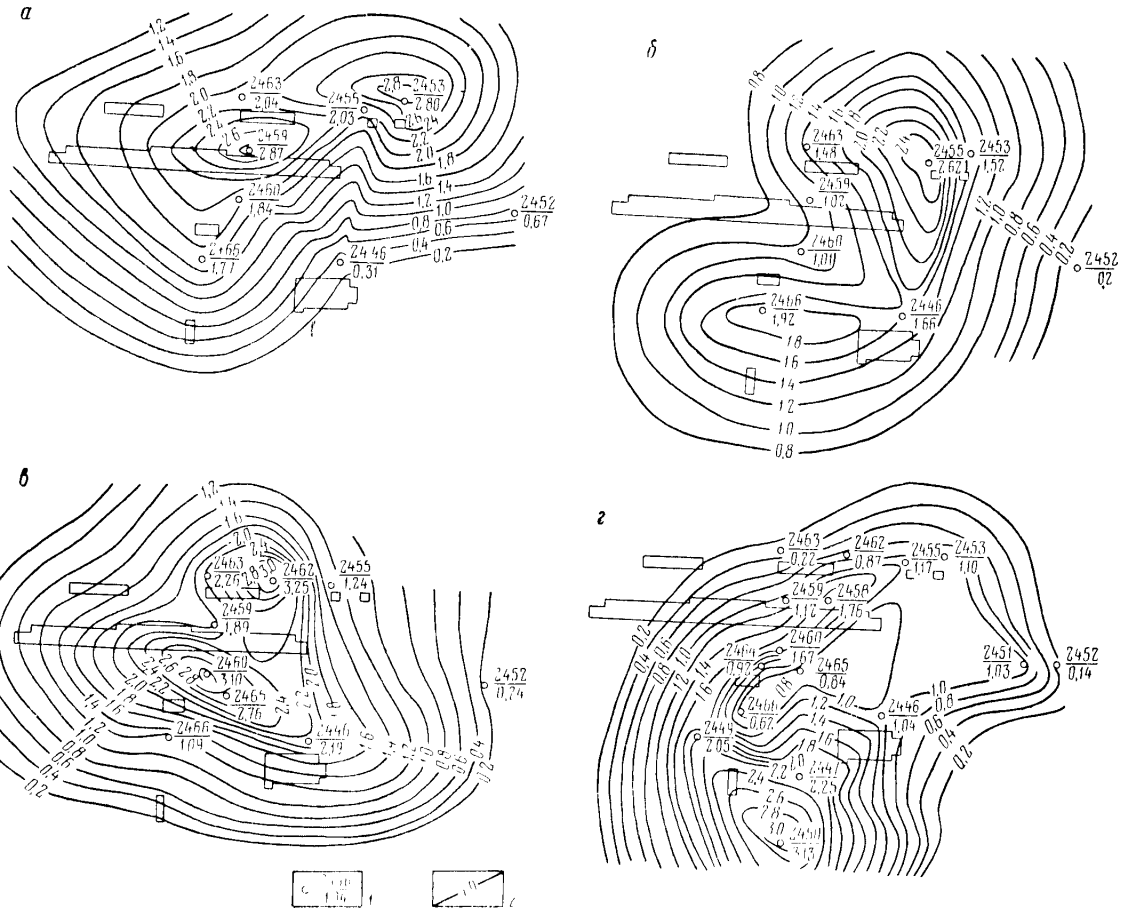


Рис. 3. Карты подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 1.

а — с 1/I 1961 г. по 10/XII 1964 г.; *б* — с 10/XII 1964 г. по 22/VI 1965 г.; *в* — с 22/VI 1965 г. по 16/VII 1966 г.; *г* — с 16/VII 1966 г. по 16/IV 1967 г.; *1* — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — прирост мощности водоносного горизонта, м); *2* — изолинии прироста мощности водоносного горизонта

от 11 м (в природных условиях) до 4,5—5 м. Минимальная глубина уровня воды (3,5 м) наблюдалась на участке, где имеются неблагоприятные условия для подземного стока.

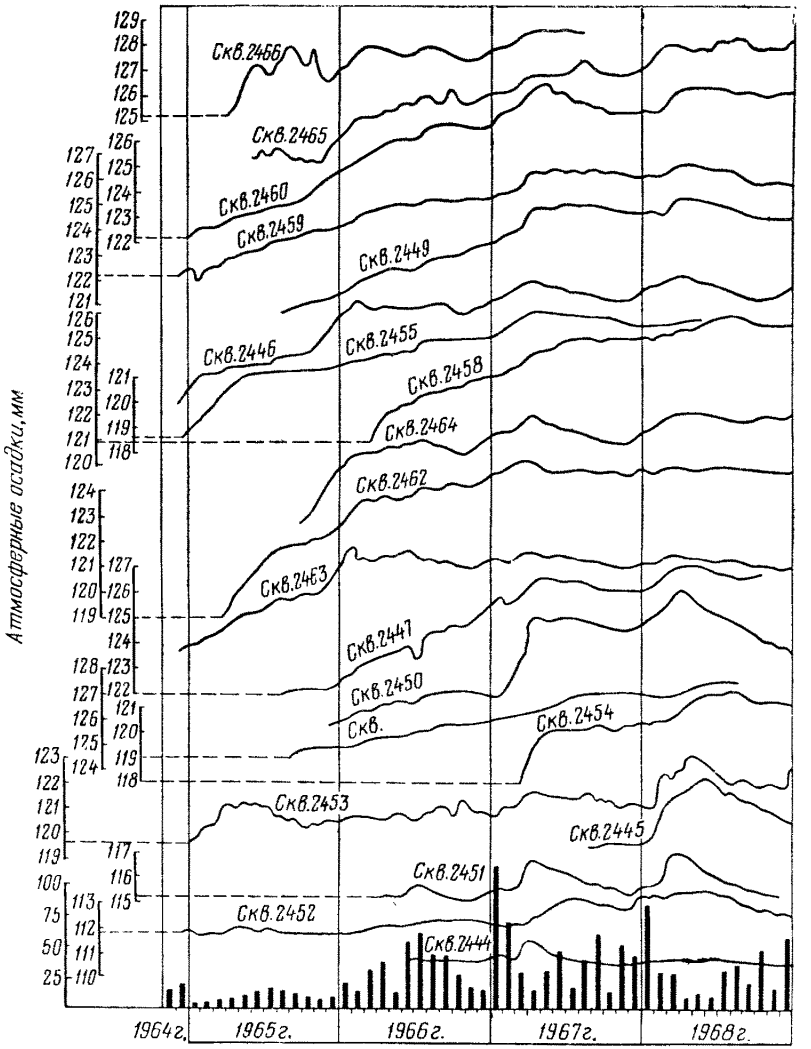


Рис. 4. График колебания уровней грунтовых вод и атмосферных осадков на промплощадке № 1

Под влиянием застройки режим колебания уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 существенно изменился (рис. 4). Характерно, что подъем уровня воды происходит независимо от сезона года, причем в отдельных местах он поднимается непрерывно на

протяжении нескольких лет (скв. 2459, 2460 и др.). Это связано с питанием грунтовых вод не только за счет атмосферных осадков, инфильтрация которых возрастает в процессе застройки, но и за счет постоянных утечек производственных и хозяйственных вод.

В отдельных скважинах (2453, 2444 и др.) нет ярко выраженных сезонных подъемов и спадов. Время начала подъема и спада по многим скважинам существенно различается. Большая часть кривых на протяжении года осложнена влиянием многочисленных режимообразующих факторов (потери воды из водонесущих коммуникаций в виде точечных или линейных источников, неравномерная инфильтрация атмосферных и талых вод и т. д.).

Важной характерной особенностью режима грунтовых вод на промплощадке № 1 является также повышение в 2—3 раза амплитуды колебания их уровня. На многих участках она достигает 1,0—1,5 м, а местами 2,5 м (скв. 2450).

Таблица 1

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 1

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность			Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
		всех наблюдений, лет	повышения уровня грунтовых вод				
			лет	месяцев			
2452	1965—1972	7	1	3	1,40	1,07	$1{,}48 \cdot 10^{-4}$
2451	1966—1968	2	1	11	1,70	0,89	$1{,}22 \cdot 10^{-4}$
2451	1965—1969	4	3	—	1,90	0,63	$0{,}87 \cdot 10^{-4}$
6г	1965—1968	3	2	11	2,80	0,96	$1{,}32 \cdot 10^{-4}$
2450	1966—1969	3	2	3	5,35	2,37	$1{,}33 \cdot 10^{-4}$
2447	1965—1968	3	2	8	5,10	1,89	$2{,}58 \cdot 10^{-4}$
2463	1965—1972	7	1	1	4,15	3,77	$5{,}17 \cdot 10^{-4}$
2462	1965—1969	4	2	—	6,25	3,12	$4{,}27 \cdot 10^{-4}$
2464	1965—1972	7	1	6	4,30	2,86	$3{,}92 \cdot 10^{-4}$
2458	1966—1972	7	4	1	5,25	1,28	$1{,}75 \cdot 10^{-4}$
2455	1965—1968	3	2	4	4,85	2,10	$2{,}88 \cdot 10^{-4}$
2446	1965—1972	7	5	5	4,90	0,91	$1{,}24 \cdot 10^{-4}$
2449	1965—1972	7	2	10	4,35	0,61	$2{,}21 \cdot 10^{-4}$
2459	1965—1972	7	2	5	3,75	1,56	$2{,}14 \cdot 10^{-4}$
2460	1965—1972	7	2	4	5,95	2,59	$3{,}55 \cdot 10^{-4}$
2465	1965—1972	7	3	11	5,00	1,28	$1{,}75 \cdot 10^{-4}$
2466	1955—1967	3	2	1	3,30	1,59	$2{,}1 \cdot 10^{-4}$
2445	1967—1972	5		9	2,75	4,32	$5{,}03 \cdot 10^{-4}$
2454	1967—1969	2	1	4	3,60	2,76	$3{,}7 \cdot 10^{-4}$
22г	1971—1972	1		6	1,0	2,0	$2{,}75 \cdot 10^{-4}$
26г	1970—1973	3	2	3	2,80	2,24	$3{,}07 \cdot 10^{-4}$
Среднее					3,82	1,99	$2{,}58 \cdot 10^{-4}$

Величину многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод как на промплощадке № 1, так и на других описываемых ниже промплощадках определяли по методу Н. Н. Биндемана [29], используя данные режимных наблюдений за колебанием их уровня по наблюдательным скважинам.

Наблюдения за режимом уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 проводились с 1965 по 1972 г. В этот период величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод колебалась от $0{,}87 \cdot 10^{-14}$ до $5{,}17 \cdot 10^{-14}$ м/сут (табл. 1), а годовая скорость подъема их уровня по отдельным скважинам изменялась от 0,9 до 3,12 м и более. В среднем по промплощадке № 1 она составляла 1,99 м/год.

В результате подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 оказались подтопленными многие расположенные на ней здания и сооружения — корпус обогащения, склад концентрата, корпуса дробления и др. Воздействие на их фундаменты агрессивных грунтовых вод вызывает угрозу сохранности и долговечности сооружения.

Промплощадка № 2

Физико-географические условия. Промплощадка № 2 находится на Украине в пределах водораздельного плато. Склоны речных долин пересечены густой сетью балок. Рельеф промплощадки № 2 довольно ровный, спокойный, абсолютные отметки ее поверхности изменяются от 127,5 до 137,5 м, а общий уклон наблюдается к югу. План расположения на ней основных зданий и сооружений показан на рис. 5.

Промплощадка № 2 находится в климатических условиях аналогичных району промплощадки № 1. Сравнительно небольшое количество атмосферных осадков, значительная часть которых выпадает в виде кратковременных ливневых дождей, повышенная испаряемость и дефицит влажности воздуха являются неблагоприятными факторами для пополнения запасов грунтовых вод в районе.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В геологическом строении промплощадки № 2 принимают участие четвертичные образования. Верхняя часть разреза сложена лёссовидными желто-бурыми суглинками, подстилаемыми гумусированными суглинками желтого цвета (рис. 6.). Далее следуют макропористые сильно известковистые светло-желтые лёссовидные суглинки. Следующий литологический горизонт, подошва которого залегает на глубине 8—9 м, представлен лёссовидным макропористым суглинком желто-бурого цвета. Ниже этого горизонта залегают коричневобурые и светло-желтые лёссовидные суглинки. В основании четвертичной толщи находится мощный слой плотного и тяжелого красно-бурого суглинка, переходящегося книзу в глину.

До строительства промплощадки № 2 грунтовые воды в четвертичных образованиях не имели сплошного распространения. Приурочены они к макропористым лёссовидным суглинкам, а водоупором для них служат нижележащие плотные красно-бурые глины.

В природных условиях режим грунтовых вод находится в прямой зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков.

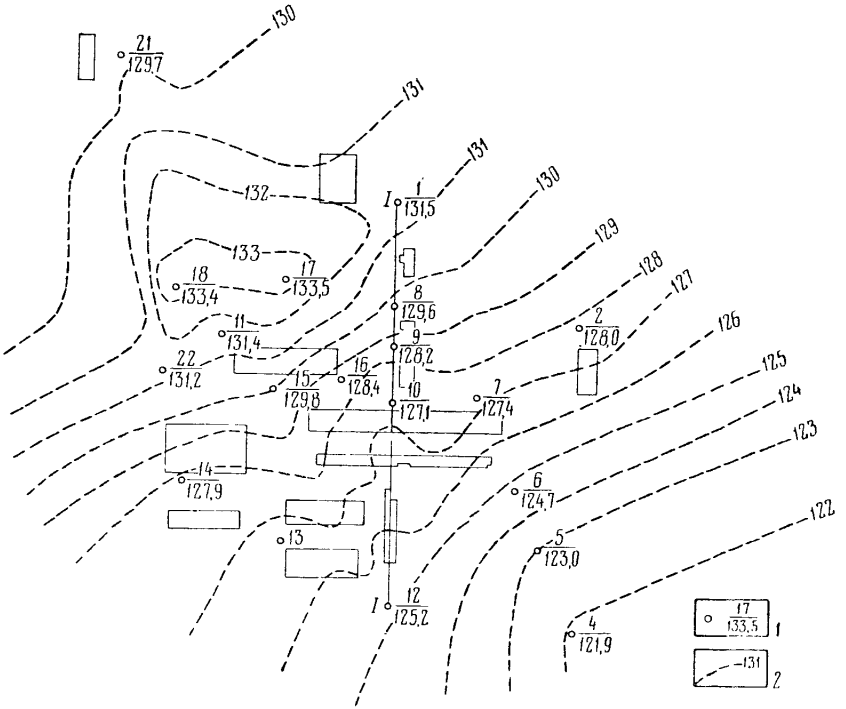


Рис. 5. План промплощадки № 2 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на сентябрь 1972 г.

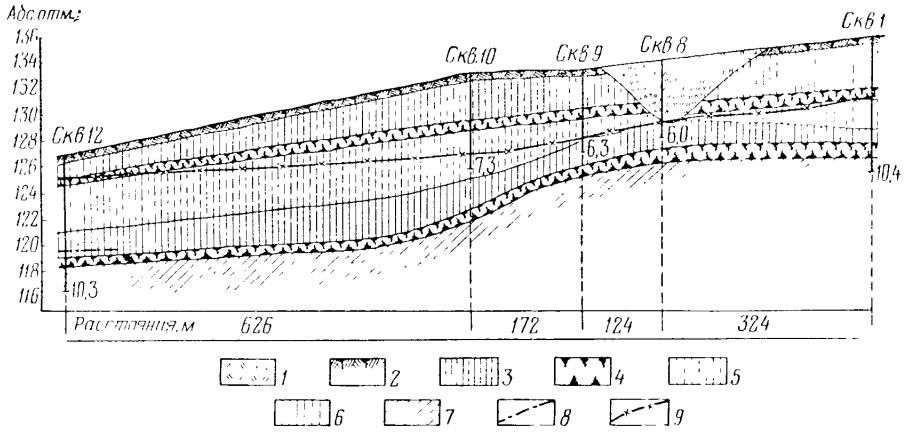


Рис. 6. Гидрогеологический разрез промплощадки № 2 по линии I-I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *4* — погребенная почва; *5* — суглинок лёссовидный светло-желтый; *6* — суглинок желто-бурый гумусированный; *7* — суглинок красно-бурый плотный; *8* — естественный уровень грунтовых вод на июнь 1955 г.; *9* — уровень грунтовых вод после застройки территории на сентябрь 1972 г.

дефицита влажности и температуры воздуха. В засушливые годы воды в четвертичных образованиях могут исчезать. Так, например, при проведении инженерно-геологических изысканий под строительство зданий и сооружений в засушливом для данного района 1954 г. грунтовые воды почти на всей территории промплощадки № 2 не были встречены. Однако при проведении изысканий в 1955 г. они были обнаружены на многих участках на глубине 8—14 м. При этом установлено, что водоносный горизонт четвертичных образований слабоводообильный, уровень грунтовых вод в скважинах восстанавливается спустя 1—2 сут после их появления. В результате малой водоотдачи суглинков в ряде скважин грунтовая вода не была зафиксирована.

По данным опытных откачек, проведенных институтом ВИОГЕМ, коэффициент фильтрации лёссовидных суглинков промплощадки № 2 изменяется от 0,12 до 0,79 м/сут, а радиус влияния составляет 12—15 м.

Водно-физические свойства суглинков. Слагающие промплощадку № 2 лёссовидные суглинки характеризуются следующими водно-физическими свойствами: естественная влажность 17—34%, плотность 2,62—2,70 г/см^3, объемная масса в естественном сложении 1,80—2,04 г/см^3, пористость 40—52%, число пластичности 7—17. Содержание песка в суглинках составляет 0,25—1,2%, пыли 52—80% и глины 22—31%. Наибольшую пористость имеют макропористые светло-желтые суглинки. Они же обладают просадочными свойствами. Коэффициент относительной просадочности 0,048—0,081.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Как указано выше, в природных условиях грунтовые воды на территории промплощадки № 2 залегали на глубине 8—14 м, а в отдельные засушливые годы отсутствовали совсем. После сооружения на промплощадке № 2 первоочередных объектов горнорудного предприятия на ней стал наблюдаться подъем уровня грунтовых вод. До 1962 г. режимная сеть скважин здесь отсутствовала, поэтому и систематические наблюдения за развитием подтопления зданий и сооружений не проводились. Можно только отметить, что в 1960 г. при наращивании производственной мощности обогатительной фабрики грунтовые воды на участке расширения корпуса обогащения не были встречены. При расширении фабрики окомкования в 1961 г. уровень грунтовых вод на участке ее расположения находился на глубине 6—9 м, а мощность водоносного горизонта здесь изменялась от 0,8 до 4,0 м.

В 1962 г. на территории расположения корпуса обогащения была сооружена режимная наблюдательная сеть, которая состояла из четырех наблюдательных скважин. Замеры проводились с июля 1962 г. по сентябрь 1966 г. , причем в трех скважинах только до декабря 1962 г.

Результаты наблюдений показали, что в 1962 г. уровень грунтовых вод на участке расположения корпуса обогащения находился на глубине 7,5—9,8 м и в течение четырех лет, т. е. к 1966 г., поднялся в средней части корпуса до глубины 6,3 м.

В 1963 г. стала появляться вода в подвале центральной химической лаборатории, глубина основания которого равна 3 м. Скапливающаяся в подвале вода отводится в зумпф, откуда центробежным насосом откачивается в канализацию. При этом вода появляется преимущественно в весенний период на протяжении 2,5—3 месяцев.

Подвальное помещение автоматической телефонной станции, построенное в 1960 г., подтапливается с 1965 г. Для откачки скапливающихся в нем вод установлен центробежный насос, который включается в работу периодически по мере накопления воды.

В 1967 г. появилась вода в подвальном помещении центральных ремонтных мастерских. Глубина его равна 2,6 м. Уровень грунтовых вод на участке расположения мастерских достигал 2 м от дневной поверхности. К видимым участкам подтопления относится также территория материального склада, где размещается большая градирня.

Основными источниками обводнения грунтов промплощадки № 2 стали построенные на ней дробильная, обогатительная фабрика и многие другие объекты. Так, в районе насосной станции второго подъема оборотного водоснабжения уровень грунтовых вод весной 1973 г. находился на глубине 1,5—2,0 от поверхности. По мнению работников цеха тепловодогазоснабжения, это связано с плохим качеством заделки стыков труб.

В результате потерь в стыках и прорыва труб в районе корпуса обжига все колодцы были длительное время залиты водой. После устранения утечек уровень грунтовых вод здесь понизился, но незначительно, поскольку в этом районе проходит лоток сбросанных промышленных вод, дно которого имеет трещины. На участке между двумя корпусами дробления из подземных галерей постоянно сочится вода. Отдельные колодцы, расположенные на этой территории, неоднократно оказывались затопленными.

Для отвода атмосферных вод на промплощадке № 2 применяется как открытая, так и закрытая канализация. В ряде мест через трещины в лотках открытой канализации наблюдается инфильтрация воды в грунт.

В 1972 г. объем потребления предприятием воды составил 970 тыс. м^3/сут, в том числе технической 974, 41 тыс. м^3/сут и хозяйственной — 5,59 тыс. м^3/сут. Длина водоводов достигла 63 км, а канализации — 47 км. Значительное их развитие привело к росту потерь воды в грунт.

Во второй половине 1972 г. на промплощадке № 2 институтом ВИОГЕМ была создана режимная сеть, состоящая из 23 наблюдательных скважин. В сентябре этого года поверхность грунтовых вод имела вид небольшого купола, а глубина залегания их в среднем составляла 4,4 м.

В апреле 1974 г. на промплощадке № 2 по-прежнему сохранялась куполообразная форма поверхности грунтовых вод, а глубина залегания изменялась от 2,8 до 6,2 м.

В ходе колебания уровня грунтовых вод промплощадки № 2 наблюдались преимущественно зимне-весенние подъемы и летне-

осенние спады (рис. 7). Подъемы происходили с декабря — января до апреля — мая, а спады — с мая до ноября — декабря. По ряду скважин (3, 6, 8 и др.) подобная закономерность нарушалась.

Наиболее интенсивные подъемы отмечались в 1973 г., когда по многим наблюдательным скважинам амплитуда весеннего подъема достигала 1 м и более. В 1974 г. режим уровня грунтовых вод в некоторых скважинах характеризуется незначительными по величине

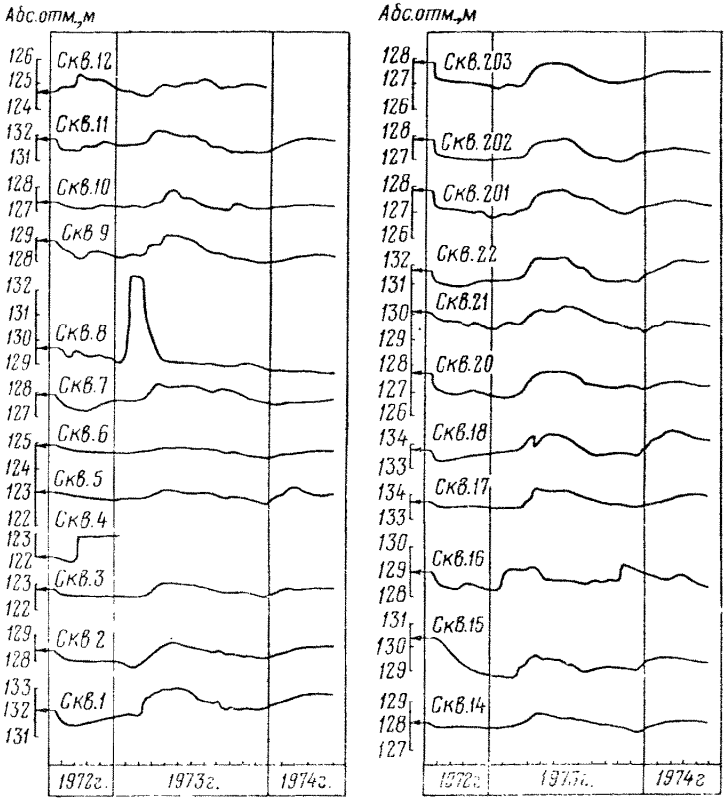


Рис. 7. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 2

(до 0,5 м и менее) подъемами и спадами. Кроме того, имели место либо непрерывные подъемы (скв. 6, 14, 17, 21), либо спады (скв. 8, 16, 20).

Промплощадка № 3

Физико-географические условия. Промплощадка № 3 расположена в степной части Украины на водоразделе реки и двух балок. Водораздел имеет вид узкого гребня, полого переходящего в склоны балок. Наивысшие отметки водораздельной поверхности составляют 89 м. К северу промплощадки № 3 в сторону реки они понижаются

до 45 м, а к югу — до 72 м. План расположения на ней зданий и сооружений изображен на рис. 8.

Климатические условия промплощадок № 3 и № 1 аналогичны.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В геологическом разрезе промплощадки № 3 (рис. 9) участвуют суглинки лёссовидные макропористые от светло- и палево-желтого до желто-бурого и бурого цвета с содержанием карбонатных примесей и гипса. Распространены они почти повсеместно. Ниже суглинков залегает опесчаненная глина от красно-бурого до желто-бурого цвета. Далее следует мелкозернистая супесь, изредка пылеватая, слабокарбонатная, с редкими стяжениями гипса. Ниже супеси залегают пески, ракушечные известняки и глины.

До строительства горнорудного предприятия на промплощадке № 3 грунтовые воды на ее территории в неогеновых песках и в верхней толще известняков залегали на глубине 32—40 м. Такое низкое положение их уровня в данных породах было установлено инженерно-геологическими изысканиями, проведенными в 1952 г. для целей строительства объектов горнорудного предприятия.

В четвертичных образованиях вода в природных условиях обнаруживалась типа верховодки в виде линз небольшой мощности. Например, при изысканиях в 1953 г. она была встречена одной скважиной на глубине 2 м в прослойке мелкозернистого песка. Водоупором для грунтовых вод четвертичных образований являются красно-бурые глины, которые отсутствуют только в нижней части склонов водораздела. Мощность красно-бурых глин 3—10 м.

Питание грунтовых вод в природных условиях происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, а их дренирование — местной эрозионной сетью.

Водно-физические свойства суглинков. Влажность лёссовидных суглинков изменяется значительно, что связано с их неравномерной обводненностью как по площади, так и по мощности. Результаты статистической обработки показывают, что среднее значение влажности по 26 образцам равно 18,55%, среднемаксимальное значение — 23,48% и среднеминимальное — 15,12%. Коэффициент пористости лёссовидных суглинков изменяется от 0,550 до 0,700, плотность — от 2,71 до 2,73 г/см^3, объемная масса при естественной влажности — от 1,88 до 2,07 г/см^3.

После обводнения лёссовидные суглинки не являются просадочными. Значение коэффициента сжимаемости в интервале нагрузок (1—2) 10^5Па колеблется от $0{,}0253 \cdot 10^{-5}$ до $0{,}0629 \cdot 10^{-5}$ПА$^{-1}$, а коэффициент сдвига — от 0,325 до 0,500 кгс/см^2.

Величина естественной влажности красно-бурых суглинков изменяется от 18,3 до 26,0%, число пластичности — от 10,5 до 38,2, а коэффициент пористости — от 0,56 до 0,87.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. В 1953—1955 гг. на промплощадке № 3 была построена первая очередь горнорудного предприятия. Значительная часть ее была застроена основными и вспомогательными объектами. Стали функционировать подземные водонесущие коммуникации и хвостохра-

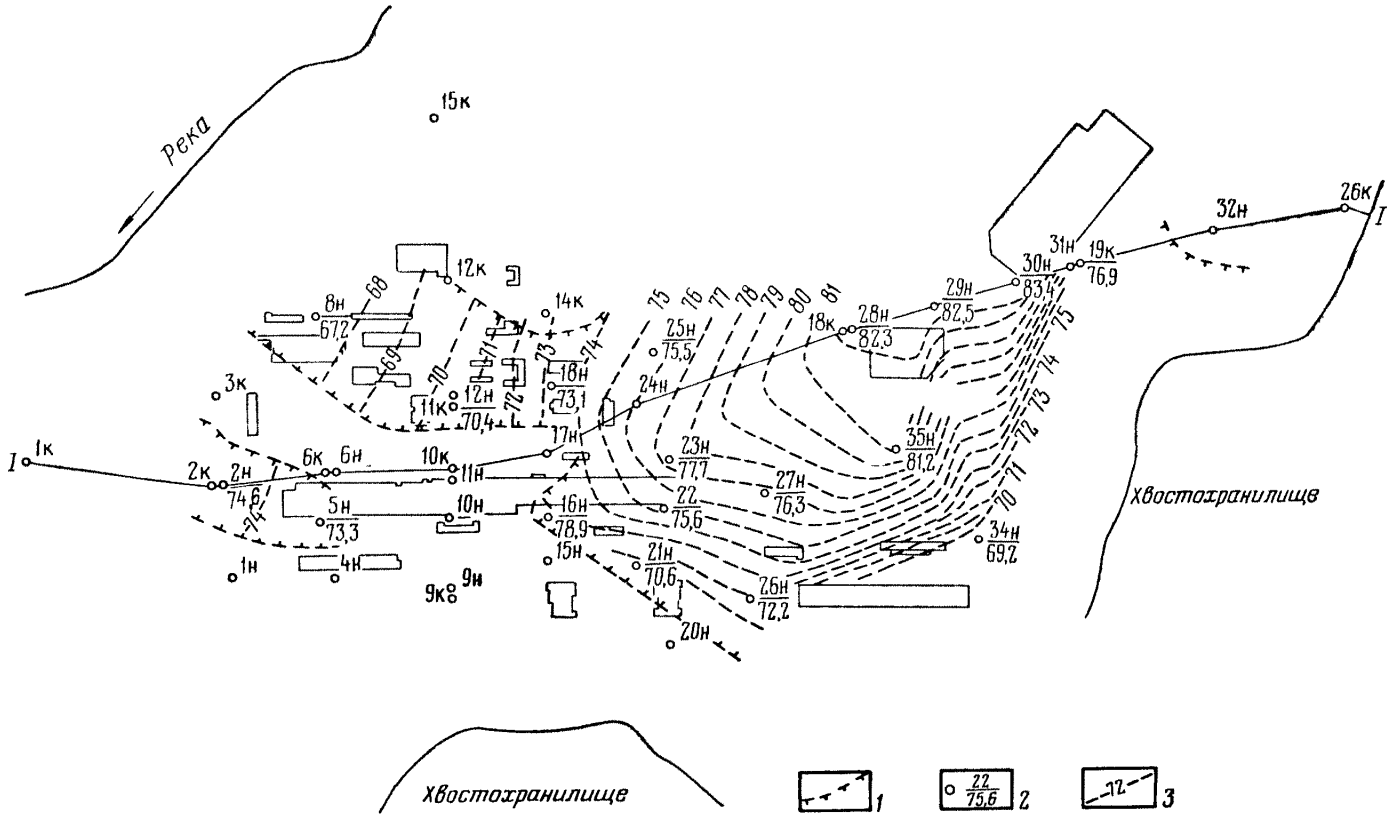


Рис. 8. План промплощадки № 3 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — границы распространения обводненных суглинков; *2* — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *3* — гидроизогипсы грунтовых вод на март 1973 г.

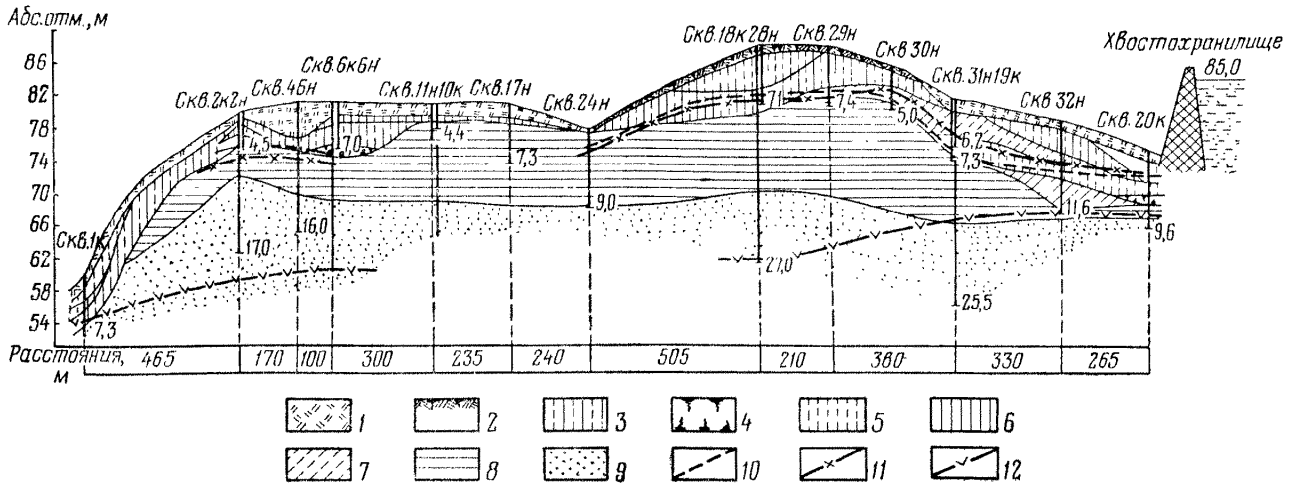


Рис. 9. Гидрогеологический разрез промплощадки № 3 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *4* — погребенная почва; *5* — суглинок лёссовидный светло-желтый; *6* — суглинок желто-бурый; *7* — супесь; *8* — глина; *9* — уровень грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта после застройки территории на июнь 1970 г.; *11* — то же, на март 1973 г.; *12* — уровень грунтовых вод неогенового водоносного горизонта.

нилище. В создавшихся новых застроенных условиях возникли предпосылки обводнения грунтов оснований зданий и сооружений за счет потерь воды из хвостохранилища и утечек производственных и хозяйственных вод.

Впервые на промплощадке № 3 работы, связанные с изучением формирования грунтовых вод за счет возможных потерь производственных вод, проводились в 1957 г. в районе корпуса обогащения. Результаты исследований показали, что уровень грунтовых вод в неогеновых отложениях с 1952 по 1957 г. поднялся на 18 м (с 50 до 32 м), что объяснялось потерями воды из хвостохранилища.

Водосодержащими породами неогеновых отложений являются пески различного гранулометрического состава от мелко-до крупнозернистых и известняки. Нижним водоупором их служат палеогеновые глины.

В 1957 г. в лёссовидных суглинках на участке расположения корпуса обогащения грунтовые воды были встречены в некоторых местах на глубине 5,15—7,15 м. По мнению изыскателей, они образовались в результате инфильтрации производственных вод из корпуса обогащения и утечек воды из расположенного рядом с ним склада мокрого концентрата.

В 1958 г. проводились дополнительные инженерно-геологические изыскания для составления рабочих чертежей некоторых сооружений обогатительного комплекса. Результаты этих изысканий подтвердили значительное увеличение обводнения ракушечных известняков и песков неогенового возраста. Вместе с этим в четвертичных образованиях в местах усиленного замачивания грунтов производственными водами отмечались купола грунтовых вод, вершины которых находились на глубине 2,87—6,3 м.

В 1962 г. институтом «Южгипроруда» на промплощадке № 3 была создана режимная сеть наблюдательных скважин и с апреля по декабрь проведены наблюдения за уровнем грунтовых вод. Сооруженные 18 наблюдательных скважин по пяти створам пересекали водораздел, достигая находящееся вблизи промплощадки № 3 хвостохранилище.

Анализ режимных наблюдений показал, что с 1953 г. (начало строительства предприятия) по 1962 г. подъем уровня грунтовых вод в неогеновых отложениях составил 30 м. Поток их был направлен от хвостохранилища через водораздел в сторону реки. Наибольшие уклоны движения воды имели место за пределами промплощадки № 3.

При дальнейшей эксплуатации промплощадки № 3 масштабы обводнения ее грунтов увеличивались. Так, в 1966 г. были подвергнуты подтоплению подвальные помещения центрального материального технического склада. Для установления положения уровня грунтовых вод на участке его расположения было пробурено семь наблюдательных скважин.

Пройденными скважинами грунтовые воды здесь встречены в супесях и песках неогенового возраста на глубине 25,7 м. С 1962 по 1966 г. под влиянием хвостохранилища их уровень повысился на 4,7 м.

В лёссовидных суглинках на территории склада и за его пределами была обнаружена вода на глубине 2,26—3,47 м. В подвальных помещениях склада она появилась осенью 1965 г. в результате инфильтрации в грунт скапливающихся на его территории дождевых и талых вод. Кроме того, вдоль забора склада проходят водовод диаметром 200 мм и теплотрасса, из которых возможны утечки воды. До 1965 г. воды здесь не было.

В связи с ростом масштабов обводнения лёссовидных суглинков на территории промплощадки № 3 проводились инженерно-гидрогеологические исследования институтом ВИОГЕМ.

Результаты этих исследований показали, что в 1970 г. лёссовидные суглинки, слагающие промплощадку № 3, не были обводнены повсеместно. Они являлись необводненными на участке расположения центральной части корпуса обогащения, в районе аглофабрики № 1 и в других местах.

Грунтовые воды на промплощадке № 3 в пределах участков их распространения залегали на глубине 2,2—10,6 м от поверхности. Мощность обводненной части лёссовидных суглинков по отдельным скважинам достигала 2,5—3,1 м. Направление потока грунтовых вод совпадало с общим уклоном кровли водоупора. Уклон подземного потока достигал 0,028.

С 1970 по 1973 г. обводнение лёссовидных суглинков на многих участках промплощадки № 3 продолжалось, о чем свидетельствуют данные режимных наблюдений гидрогеологической службы предприятия. В этот период величина повышения уровня грунтовых вод колебалась от 0,50 до 1,25 м, скорость подъема уровня — от 0 30 до 1,0 м/год, а величина многолетнего инфильтрационного питания их от $0{,}40 \cdot 10^{-4}$ до $1{,}3 \cdot 10^{-4}$ м/сут (табл. 2).

Таблица 2

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 3 за период 1970—1973 гг.

№ скважины	Продолжительность повышения уровня грунтовых вод		Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего фильтрационного питания грунтовых вод, м сут
	лет	месяцев			
29н	1	9	0,75	0,43	$0{,}58 \cdot 10^{-4}$
21н	1	7	0,50	0,31	$0{,}43 \cdot 10^{-4}$
31н	1	9	1,25	0,71	$0{,}98 \cdot 10^{-4}$
12н	1	8	0,50	0,30	$0{,}40 \cdot 10^{-4}$
30н	1	9	0,60	0,34	$0{,}47 \cdot 10^{-4}$
7н	1	9	1,75	1,00	$1{,}30 \cdot 10^{-4}$
5н	2	—	0,65	0,32	$0{,}44 \cdot 10^{-4}$
2н	1	9	0,70	0,40	$0{,}54 \cdot 10^{-4}$
Среднее			0,84	0,48	$0{,}64 \cdot 10^{-4}$

Из рис. 8 видно, что в 1973 г. поток грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта был направлен от водораздела в сторону хвостохранилища. Глубина уровня воды изменялась от 2 до 7,6 м, в среднем она составляла 4,8 м. Вместе с этим на отдельных участках промплощадки № 3 лёссовидные суглинки по-прежнему являлись необводненными.

Промплощадка № 4

Физико-географические условия. Промплощадка № 4 расположена в степной части Украины на водоразделе между балкой и рекой. Отметки ее поверхности колеблются от 98 до 85 м, понижаясь преимущественно в сторону реки. Местами естественный рельеф здесь нарушен отвалами пустых пород карьеров.

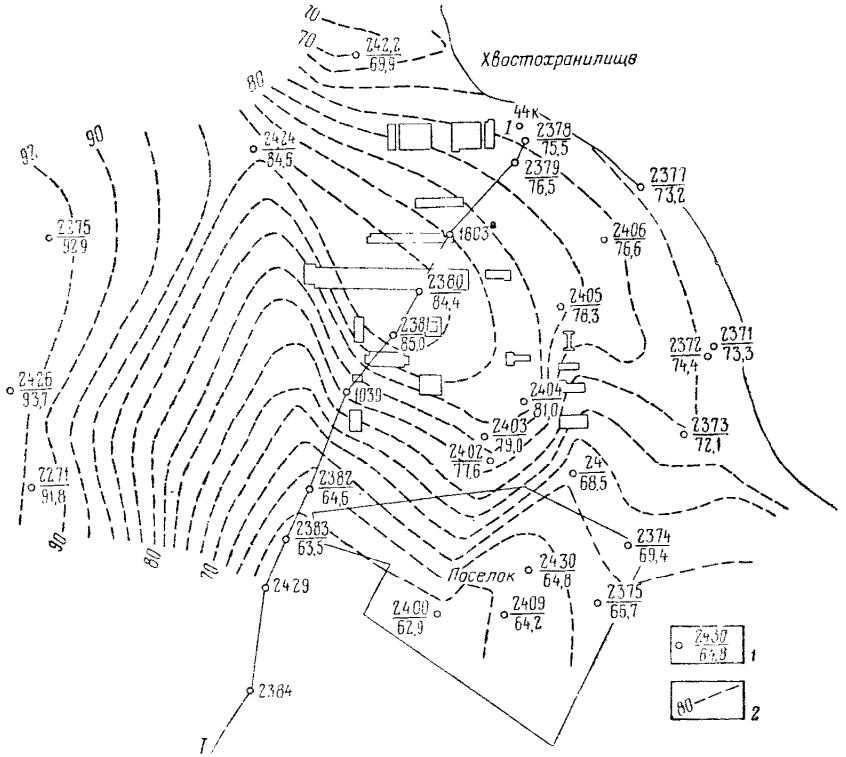


Рис. 10. План промплощадки № 4 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на декабрь 1961 г.

Балка после создания в ней хвостохранилища является важнейшим гидрографическим элементом, влияющим на изменение природной обстановки застраиваемых здесь территорий.

Климатические условия промплощадки № 4 одинаковы с описанными выше на промплощадках № 1—3. Расположенные на ней объекты изображены на рис. 10.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Промплощадка № 4 сложена четвертичными образованиями и неогеновыми и палеогеновыми отложениями (рис. 11).

Четвертичные образования представлены двумя основными разновидностями пород: внизу красно-бурыми суглинками, известковистыми, с прослоями кристаллического гипса, на которых залегают лёссовидные суглинки желто-бурого и палево-желтого цвета, макропористые, карбонатные с прослоями погребенной почвы и глинистых

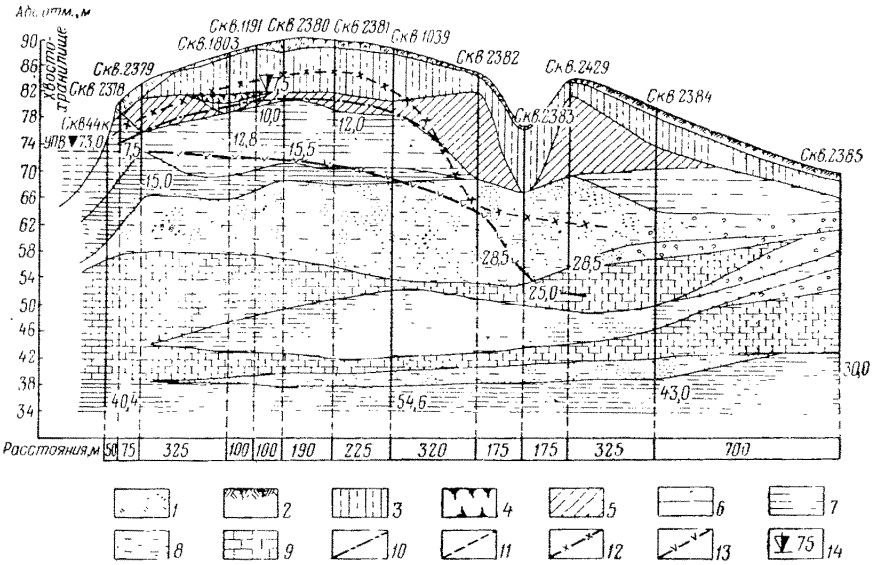


Рис. 11. Гидрогеологический разрез промплощадки № 4 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *4* — погребенная почва; *5* — суглинок красно-бурый; *6* — глина красно-бурая; *7* — глина темно-серая; *8* — песок разнозернистый глинистый; *9* — известняк трещиноватый; *10* — бытовой уровень грунтовых вод на 1954 г.; *11* — уровень грунтовых вод после застройки территории на декабрь 1961 г.; *12* — то же, на 1973 г.; *13* — уровень грунтовых вод неогенового водоносного горизонта на декабрь 1961 г.; *14* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

песков. Неогеновые отложения — мелкие глинистые пески, серые известковистые глины, известняки-ракушечники, а палеогеновые — плотные вязкие глины, известковистые песчаники и мелкие глауконито-кварцевые пески.

До строительства горнорудного предприятия на промплощадке № 4 (1954 г.) грунтовые воды были распространены в суглинках только в северной ее части на глубине 2,1—9,6 м. Питание их осуществлялось за счет инфильтрации атмосферных осадков и потерь воды из оросительной сети каналов совхоза. Коэффициент фильтрации суглинков 0,1—0,9 м/сут.

Водно-физические свойства суглинков. Желто-бурые, палево-желтые и красно-бурые лёссовидные суглинки по числу пластичности и гранулометрическому составу относятся к средним и тяжелым суг-

линкам. По данным естественной влажности суглинки находятся в маловлажном, влажном и водонасыщенном состоянии. Естественная влажность их 16,2—35%, плотность 2,65—2,75 г/см³, объемная масса при естественном сложении 1,57—1,95 г/см³, пористость 39—50%, коэффициент пористости 0,649—1,030, число пластичности 10,0—21,5.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. При проведении изысканий в 1956 г., когда на промплощадке № 4 уже было начато строительство горнорудного предприятия, грунтовые воды обнаруживались почти на всей ее территории на глубине 3,8—6,8 м. Особенно режим уровня грунтовых вод начал резко изменяться после наполнения хвостохранилища в 1959 г. При заполнении до абсолютных отметок 73—76 м уровень воды в неогеновых и палеогеновых отложениях стал интенсивно повышаться. Отмечались случаи подтопления подвалов домов поселка индивидуальной застройки, расположенного вблизи промплощадки № 4.

В 1961 г. в лёссовидных суглинках на отдельных участках промплощадки № 4 уровень грунтовых вод поднялся до глубины 2,5 м от поверхности. В местах значительного подъема уровня воды в суглинках произошло подтопление подземных водных коммуникаций, канализации, а также подземного перехода под железнодорожными путями.

Анализ карты гидроизогипс четвертичного водоносного горизонта показывает, что в декабре 1961 г. поверхность воды на промплощадке № 4 имела куполообразную форму (см. рис. 10). Максимальные абсолютные отметки поверхности воды, достигающие 84—85 м, наблюдались в центральной части промплощадки № 4. В восточном направлении (в сторону балки) поверхность четвертичного водоносного горизонта понижалась до абсолютных отметок 72—73 м, т. е. до уровня воды в хвостохранилище. Еще более круто зеркало воды понижалось в западном направлении (к поселку индивидуальной застройки), где водоупорные красно-бурые глины выклиниваются и происходит смыкание четвертичного и неогенового водоносных горизонтов.

В 1961 г. глубина залегания уровня грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта на промплощадке № 4 изменялась от 3,04 до 8,47 м. Минимальная глубина уровня воды наблюдалась на участке расположения литейного цеха, а максимальная — в районе корпуса агломерации.

Сопоставление данных режимных наблюдений за 1957, 1961 и 1973 гг. свидетельствует о том, что к 1973 г. на территории промплощадки № 4 произошли существенные изменения в положении уровня грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта. Так, в районе аглофабрики № 1 уровень воды поднялся до 4—5 м, а на участке аглофабрики № 2 — до 2,5 м. В результате этого фундаменты корпуса выдачи агломерата № 1 и 2 и корпуса дымососов эксгаустеров подвергнуты постоянному подтоплению. В районе расположения управления предприятия уровень воды повысился от 2

до 4,2 м. Кроме этого, на промплощадке № 4 наблюдаются и другие участки с высоким положением уровня грунтовых вод.

Результаты наблюдений показали, что подъем уровня воды в четвертичных образованиях вызван не за счет потерь воды из хвостохранилища, поскольку в пределах промплощадки № 4 поверхность водоупора (красно-бурых глин) всегда была выше нормального подпертого горизонта хвостохранилища, а вследствие повышенной инфильтрации атмосферных осадков и утечек производственно-хозяйственных вод.

Промплощадка № 5

Физико-географические условия. Промплощадка № 5 находится на Украине среди степной равнины, в значительной степени расчле

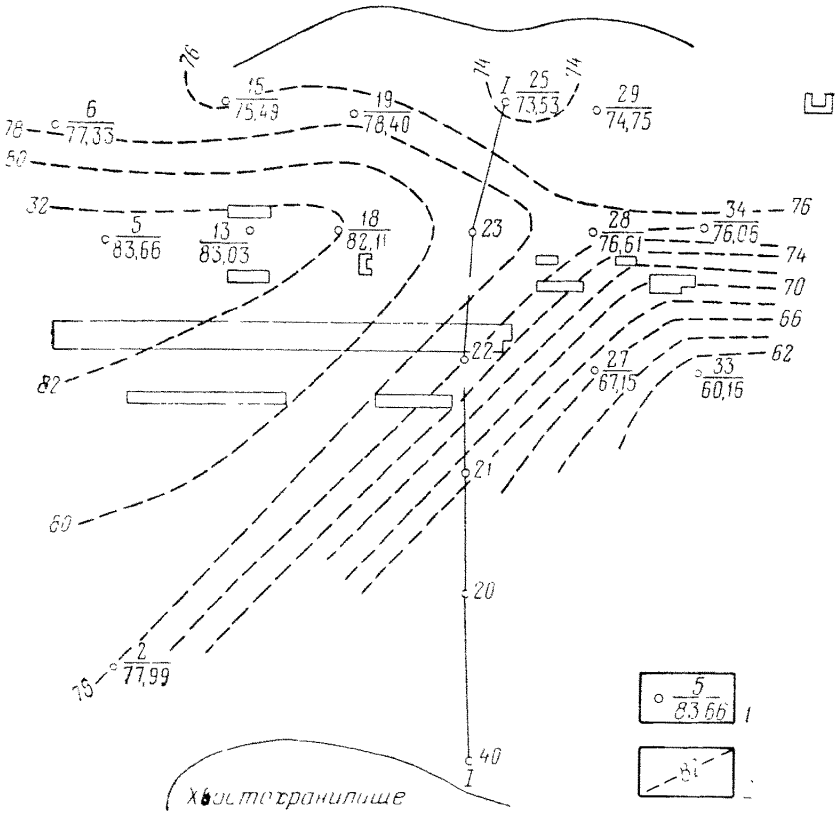


Рис. 12. План промплощадки № 5 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на март 1971 г.

ненной долиной реки и впадающими в нее балками и оврагами. Большую часть года балки и овраги сухие и только во время таяния снега и ливневых дождей по ним происходит сток вод в реку.

Здания и сооружения расположены на водораздельном участке между двумя балками. Падение отметок поверхности промплощадки № 5 наблюдается на юг и на север в сторону балок и с запада на восток в сторону реки. Изменяются они от 92 до 50 м. План размещения зданий показан на рис. 12.

Климатические условия промплощадки № 5 аналогичны рассмотренным выше на промплощадках № 1—4.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В пределах промплощадки № 5 образования четвертичной системы, на которых построены здания и сооружения горнорудного предприятия,

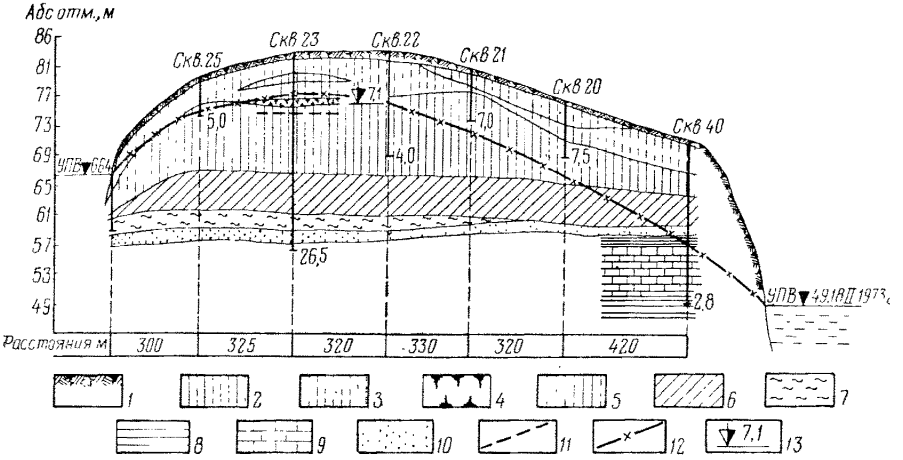


Рис. 13. Гидрогеологический разрез промплощадки № 5 по линии I—I.

1 — почвенно-растительный слой; *2* — суглинок желто-бурый лёссовидный; *3* — суглинок светло-желтый лёссовидный; *4* — погребенная почва; *5* — суглинок коричневый плотный; *6* — суглинок красно-бурый; *7* — глина серая; *8* — глина зеленая слюдистая; *9* — известняк; *10* — песок; *11* — уровень грунтовых вод после застройки территории на июнь 1967 г.; *12* — то же, на март 1971 г.; *13* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

представлены желто-бурыми и светло-желтыми макропористыми лёссовидными суглинками (рис. 13). Ниже их залегают неогеновые пески, супеси, суглинки и глины. Пески и супеси встречаются реже. Более широко распространены красно-бурые глины и почти повсеместно — тяжелые красно-бурые суглинки.

Водоносные горизонты приурочены к рыхлым неогеновым отложениям и четвертичным образованиям. В природных условиях четвертичные образования на территории промплощадки № 5 почти не были обводнены. Так, при проведении на ней изысканий для проектного здания строительства первоочередных объектов грунтовые воды были встречены в лёссовидных суглинках лишь в ее крайней юго-западной части на глубине 2,0—5,8 м. Мощность обводненных суглинков здесь составляла 1,0—3,3 м.

Питание грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта происходило исключительно за счет инфильтрации атмосферных осадков, а их дренирование — овражно-балочной сетью. Коэффи-

циент фильтрации лёссовидных суглинков изменяется от 0,15 до 0,4—0,8 м/сут. В неогеновых отложениях водоносные горизонты приурочены к понтическим известнякам, киммерийским и сарматским пескам. Встречаются они на глубине от 4 до 38 м. Коэффициент фильтрации неогеновых отложений 1,5—10 м/сут.

Водно-физические свойства суглинков. Желто-бурые, темно-бурые и светло-желтые суглинки имеют естественную влажность 14—20%, число пластичности 12—19. Объемная масса их в естественном состоянии равна 1,52—1,84 г/см³, пористость 40—51%, плотность 2,65—2,70 г/см³. В своем механическом составе они содержат песчаных фракций 2,2—8,8%, пылеватых 68,3—72,4%, глинистых 15—28% и относятся к легким и средним пылеватым суглинкам. Суглинки красно-бурые, очень плотные, объемная масса их равна 1,82—1,92 г/см³, плотность 2,68—2,74 г/см³, пористость 39—43%.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. За период строительства предприятия с 1962 по 1965 г. площадь и мощность обводнения лёссовидных суглинков на территории промплощадки № 5 значительно увеличились. В 1965 г. при проведении инженерно-геологических изысканий для реконструкции и расширения предприятия грунтовые воды были встречены в районе корпуса обогащения, склада концентрата и котельной на глубине 3,1—7,0 м от дневной поверхности. Мощность обводненного горизонта лёссовидных суглинков в этот период изменялась от 0,5 до 5,0 м.

В 1967 г. на промплощадке № 5 также проводились инженерно-геологические изыскания с целью расширения и реконструкции предприятия. Результаты изысканий показали, что грунтовые воды имели наибольшее распространение в центральной и южной частях промплощадки № 5. В районе корпуса обогащения они залегали на глубине 6,0—7,0 м, а на участке расположения склада концентрата — 2,9—6,0 м. Мощность обводненных суглинков составляла 0,5—3,8 м.

В 1968 г. институтом ВИОГЕМ, изучавшим условия обводнения промплощадки № 5, было установлено, что основной причиной подъема уровня грунтовых вод в лёссовидных суглинках явилось нарушение естественного поверхностного стока, связанного с сооружением дробильно-обогатительного комплекса и утечкой производственно-хозяйственных вод из широко развитой здесь сети подземных водоводов и канализации. Так, в районе корпуса обогащения глубина залегания уровня грунтовых вод уменьшалась от 6—7 м в 1967 г. до 4,3—5,5 м в 1972 г.

В марте 1971 г. грунтовые воды на промплощадке № 5 имели широкое распространение (см. рис. 12). К этому времени значительно уменьшилась глубина залегания их уровня. На участках, где расположены скв. 15, 19, она не превышала 1 м, а в среднем составляла 4,5 м.

В период 1967—1972 гг. величина подъема уровня грунтовых вод изменялась от 0,55 до 3,15 м, в среднем по семи наблюдательным скважинам она составляла 1,61 м (рис. 14, табл. 3). Скорость подъема

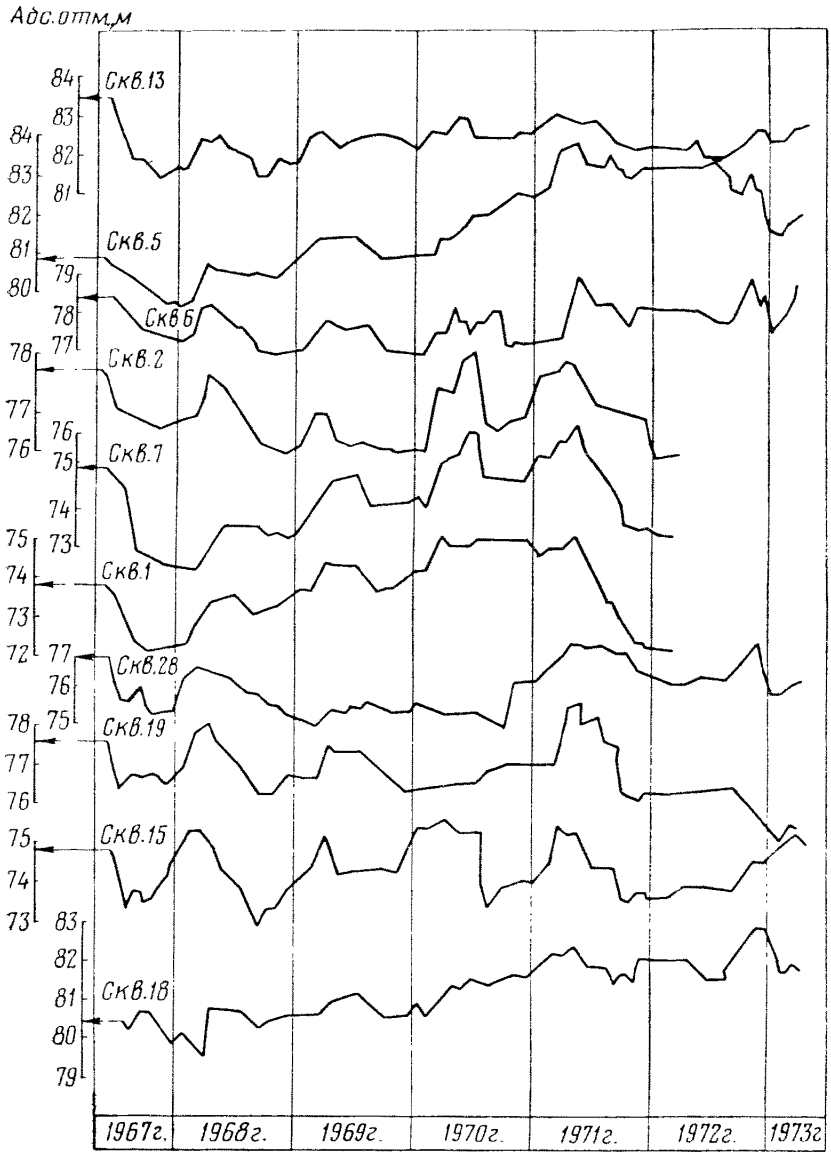


Рис. 14. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 7

уровня варьировала от 0,21 до 1,02 м/год. Максимальные ее значения наблюдались в районе расположения объектов с большим потреблением воды (скв. 5). Средняя величина многолетнего инфильтрационного питания равна $1{,}05 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Таблица 3

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 5

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность всех наблюдений, лет	Продолжительность повышения уровня грунтовых вод, лет	Продолжительность повышения уровня грунтовых вод, месяцев	Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
1	1967—1972	5	1	10	1,40	0,78	$1{,}07 \cdot 10^{-4}$
2	1967—1972	5	2	2	0,55	0,25	$0{,}36 \cdot 10^{-4}$
3	1967—1973	6	3	1	3,15	1,02	$1{,}39 \cdot 10^{-4}$
6	1967—1973	6	3	1	0,65	0,21	$0{,}30 \cdot 10^{-4}$
7	1967—1972	5	2	11	2,65	0,91	$1{,}26 \cdot 10^{-4}$
18	1967—1973	6	5	5	2,35	0,44	$0{,}6 \cdot 10^{-4}$
28	1967—1973	6	3	2	0,55	0,17	$2{,}4 \cdot 10^{-4}$
Среднее					1,61	0,54	$1{,}05 \cdot 10^{-4}$

Промплощадка № 6

Физико-географические условия. Промплощадка № 6 расположена на террасированном берегу реки, протекающей на территории Украины. Составными геоморфологическими элементами этого берега являются пойма, простирающаяся вдоль реки, шириной 0,7—0,8 км и первая и вторая надпойменные террасы.

В 1962—1970 гг. на промплощадке № 6 сооружено горнорудное предприятие. Размещение на ней зданий и сооружений, а также расположение вблизи нее водохранилища, хвостохранилища и карьера показаны на рис. 15.

Климат района промплощадки № 6 умеренно континентальный. Средняя многолетняя температура воздуха равна +8,1° С. Самый теплый месяц — июль, когда температура воздуха достигает +38° С, а самый холодный — январь с температурой до —32° С. Средняя глубина промерзания почвы за зимний период 0,35 м, а максимальная — 1,0 м. Относительная влажность воздуха зимой 75—80%, летом — 60—65%. Среднегодовое количество осадков 438 мм. Большая часть осадков (316 мм) выпадает в апреле — октябре. В связи с жарким летом и наличием оттепелей зимой испарение здесь составляет существенную величину. По данным А. Р. Константинова [75], средняя величина испарения для этого района равна 486 мм.

Геологические условия. Геологический разрез промплощадки № 6

представлен желто-серыми и темно-бурыми мелкозернистыми и пылеватыми супесями (рис. 16). Их подстилают суглинки желто-серые, темно-серые и темно-бурые опесчаненные, местами гумусированные. Ниже залегают мелкозернистые пески от светло-серой до темно-серой окраски. В основании четвертичных образований залегают палеогеновые глауконитовые зелено-серые глины харьковского яруса.

Водно-физические свойства песков. Наибольшее распространение на промплощадке № 6 имеют пески. Плотность их равна 2,65—

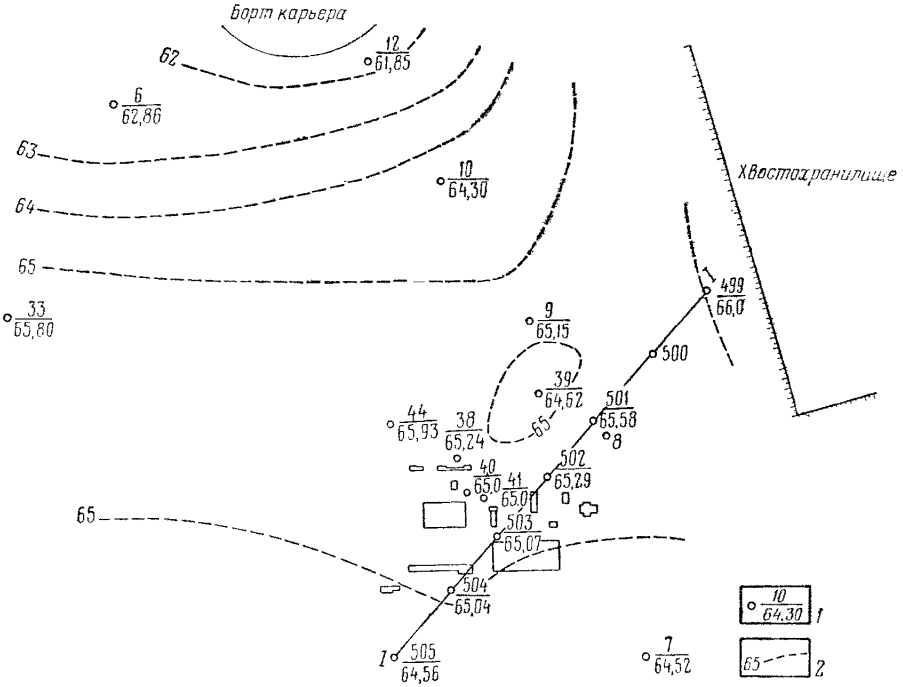


Рис. 15. План промплощадки № 6 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на март 1973 г.

2,67 г/см³, объемная масса при рыхлом сложении 1,4—1,5 г/см³ и плотном сложении 1,77—1,86 г/см³, пористость при естественном сложении 38—40%, коэффициент пористости 0,63—0,65 и угол внутреннего трения 33—35°. Все пески средней плотности и плотные. Рыхлые разности песков встречаются реже, причем наблюдаются они с поверхности и до глубины 1,1—2,2 м. В своем гранулометрическом составе они содержат наибольшее количество (до 50%) фракций 0,5—0,25 и 0,25—0,1 мм.

Гидрогеологические условия и режим грунтовых вод. На промплощадке № 6 грунты оснований зданий и сооружений обводняет четвертичный водоносный горизонт, приуроченный к пескам с линзами и прослоями супесей и суглинков. Он имеет повсеместное распространение.

Коэффициент фильтрации четвертичных отложений колеблется от 7 до 22 м/сут, в среднем он составляет 15 м/сут. Водоотдача песков по лабораторным данным равна в среднем 20%.

Важным фактором, влияющим на условия формирования грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта, является наличие в осадочной толще водоупора, представленного маргелистыми глинами харьковского яруса, который разделяет четвертичный и палеогеновый водоносные горизонты.

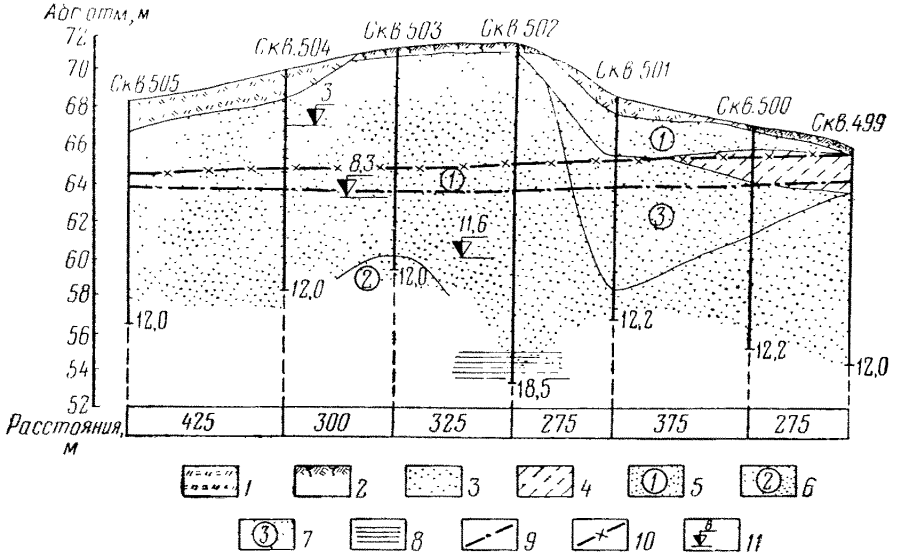


Рис. 16. Гидрогеологический разрез промплощадки № 6 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — супесь; *4* — суглинок желтовато-серый; *5* — песок кварцевый мелкозернистый; *6* — песок кварцевый среднезернистый; *7* — песок кварцевый пылеватый; *8* — глина зеленая глауконитовая; *9* — бытовой уровень грунтовых вод на 1959—1961 гг.; *10* — уровень грунтовых вод после застройки территории на март 1973 г.; *11* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

В конце 1962 г. на строящейся промплощадке № 6 была создана стационарная сеть скважин для наблюдения за режимом грунтовых вод четвертичного горизонта. Она состояла из 12 наблюдательных скважин, расположенных по четырем створам. Первоначальные результаты наблюдений показали, что поверхность грунтовых вод на промплощадке № 6 в 1962 г. была относительно ровной с абсолютными отметками от 62,5 до 63,8 м, а глубина залегания их уровня колебалась от 7 до 23 м.

№ скважины	1н	2н	3н	4н	6н	7н
Глубина уровня грунтовых вод, м	7,0	12,6	23,0	18,0	15,0	7,8
№ скважины	8н	9н	10н	12н	13н	14н
Глубина уровня грунтовых вод, м	13,0	14,2	12,8	15,4	21	6,2

В 1963 г. грунтовые воды были встречены на площадке центральной котельной на глубине 7,5—8,5 м. Площадка расположена на дюнной части первой надпойменной террасы левого берега реки.

Строительство корпуса дробления было начато в августе 1964 г. В апреле 1965 г. на участке его расположения уровень воды был на глубине 7,85 м. Фундамент корпуса заложен на глубине 5,6—11,6 м. Таким образом, почти одна треть фундамента с начала его сооружения находится ниже уровня грунтовых вод.

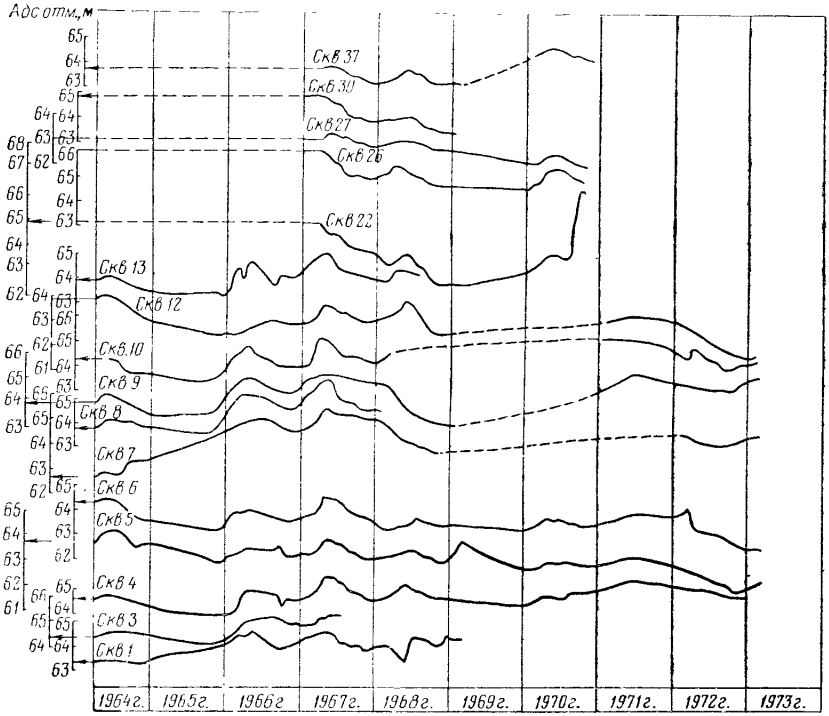


Рис. 17. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 6

С 1970 г. стала обнаруживаться вода в подвальных помещениях автоцеха и очистных сооружений хозяйственно-фекальной канализации. Скапливающаяся вода в подвальном помещении автоцеха периодически откачивается центробежным насосом.

Гидрогеологическая обстановка на промплощадке № 6, сложившаяся в 1973 г. (см. рис. 15), характеризуется следующим образом. Областью питания грунтовых вод являются водохранилище и хвостохранилище, а их дренажа — карьер. Абсолютные отметки грунтовых вод изменяются от 64,52 м (у водохранилища) до 61,85 м (вблизи карьера). Глубина уровня грунтовых вод колеблется от 0,52 до 6,41 м. В среднем она составляет 4,42 м.

Режим грунтовых вод на промплощадке № 6 в период 1964—1973 гг. приводится в табл. 4 и на рис. 17. Из табл. 4 следует,

что в течение указанного периода величина повышения уровня грунтовых вод на промплощадке № 6 колебалась от 0,4 до 2,8 м. Средняя скорость подъема уровня составляла 0,52 м/год. Значения величины многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод изменялись от $4{,}1 \cdot 10^{-4}$ до $36{,}5 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Таблица 4

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 6

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность			Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
		всех наблюдений, лет	повышение уровня грунтовых вод				
			лет	месяцев			
1	1964—1969	5	2	—	1,30	0,65	$21{,}3 \cdot 10^{-4}$
3	1964—1968	4	3	2	1,00	0,31	$10{,}3 \cdot 10^{-4}$
4	1964—1973	9	2	11	0,70	0,24	$7{,}9 \cdot 10^{-4}$
7	1964—1973	9	3	—	2,80	0,93	$30{,}6 \cdot 10^{-4}$
8	1964—1968	4	3	1	2,00	0,64	$21{,}2 \cdot 10^{-4}$
22	1967—1970	3	2	2	2,50	1,11	$36{,}5 \cdot 10^{-4}$
33	1971—1973	2	1	9	0,40	0,24	$7{,}4 \cdot 10^{-4}$
36	1967—1971	4	3	2	0,40	0,12	$4{,}1 \cdot 10^{-4}$
37	1967—1970	3	1	11	0,85	0,45	$14{,}7 \cdot 10^{-4}$
40	1972—1973	1	1	—	0,60	0,55	$17{,}8 \cdot 10^{-4}$
41	1972—1973	1	1	—	0,45	0,41	$13{,}6 \cdot 10^{-4}$
Среднее					1,18	0,52	$16{,}9 \cdot 10^{-4}$

В результате подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 6 наблюдались осадки фундамента корпуса обогащения (до 177 мм) и коллекторов хозяйственно-фекальной канализации.

Промплощадка № 7

Физико-географические условия. Промплощадка № 7 расположена на территории Украины. В геоморфологическом отношении она находится на левом пологом склоне балки, где сооружено хвостохранилище. Поверхность промплощадки № 7 имеет равномерный уклон в направлении балки. Абсолютные ее отметки изменяются от 75 до 70 м. План расположения на ней зданий и сооружений показан на рис. 18.

Климат района промплощадки № 7 умеренно континентальный и характеризуется частыми засушливыми ветрами. Средняя многолетняя температура воздуха равна +9° С. Наиболее жаркие месяцы — июль и август. В отдельные годы летняя температура превышает +38° С, а зимняя — 32° С.

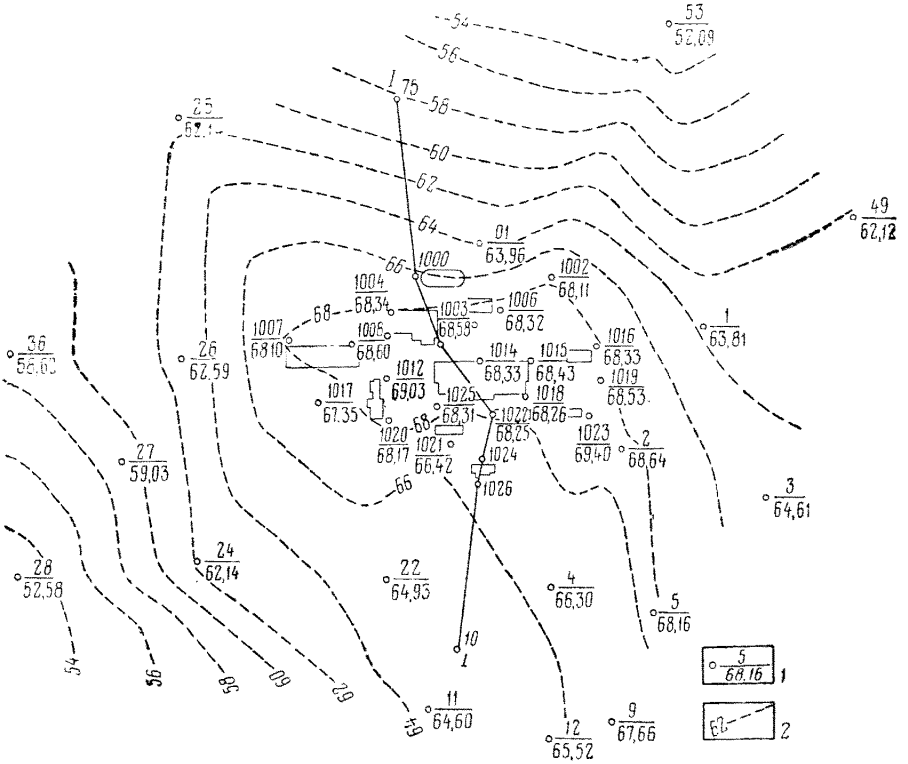


Рис. 18. План промплощадки № 7 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на май 1967 г.

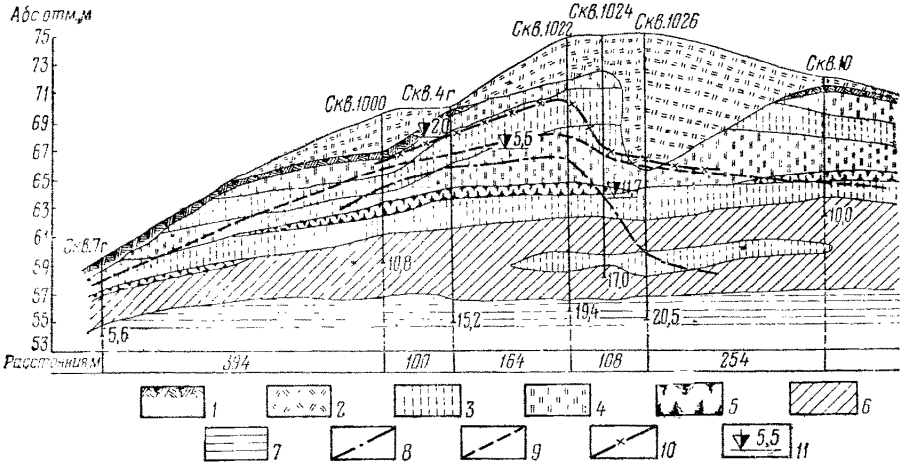


Рис. 19. Гидрогеологический разрез промплощадки № 7 по линии I—I.

1 — почвенно-растительный слой; *2* — насыпной грунт; *3* — суглинок лёссовидный; *4* — лёсс; *5* — погребенная почва; *6* — суглинок красно-бурый; *7* — глина красно-бурая; *8* — уровень грунтовых вод после застройки территории на июль 1964 г.; *9* — то же, на май 1967 г.; *10* — то же, на июль 1972 г.; *11* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

Количество осадков по данным многолетних наблюдений (1958—1972 гг.) составляет 462 мм. Наибольшее количество осадков (46—62 мм) выпадает в мае, июне и июле. Продолжительность безморозного периода за многолетний ряд наблюдений составляет 176 дней. Количество дней со снежным покровом в среднем равно 60. Средняя глубина промерзания почвы 35 см, наибольшая 86 см. Относительная влажность воздуха зимой 85—88%, летом 56—54%. По данным А. Р. Константинова [75], средняя величина испарения с поверхности земли равна 486 мм. В летний период испарение колеблется в пределах 210—220 мм, весенний — 160—170 мм, осенний — 80—87 мм и зимний — 20—25 мм. Величина испарения в летний период намного превышает количество осадков, выпадающих за это время.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В геологическом разрезе промплощадки № 7 (рис. 19) принимают участие лёссовидные палево-желтые макропористые суглинки, ниже которых залегает погребенная почва. В ней встречаются гнезда мелкокристаллического гипса. За погребенной почвой следуют слабомакропористые красно-бурые суглинки с гипсом и черными вкраплениями марганцевых солей, затем лёсс палево-желтый, слабомакропористый. В основании лёсса залегает очень плотная красно-бурая глина с включениями карбонатов.

Из результатов выполненных ранее инженерно-геологических исследований следует, что в природных условиях грунтовые воды на территории промплощадки № 7 имели спорадическое распространение. Пополнение запасов грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков весьма ограниченно. Большая часть осадков в связи с высокой температурой воздуха, низкими фильтрационными свойствами лёссовидных суглинков и большими уклонами местности идет на испарение и сток. По данным изысканий института ВИОГЕМ коэффициент фильтрации суглинков изменяется от 0,01 до 1,05 м/сут.

Водно-физические свойства суглинков. Слагающие промплощадку № 7 суглинки имеют пылевато-глинистый состав. Для них характерно отсутствие крупных песчаных фракций и высокое содержание (до 80%) пылеватых фракций. По гранулометрическому составу они относятся к легким, средним и тяжелым разностям. Естественная влажность их варьирует в широких пределах — от 11 до 32%, число пластичности — от 12 до 17, пористость — от 41 до 52%, объемная масса — от 1,60 до 2,05 г/см^3. В ряде мест они обладают просадочными свойствами.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Горнорудное предприятие на промплощадке № 7 построено в период 1956—1960 гг. Суточный объем потребляемой ею воды в 1972 г. составил 97 тыс. м^3, а длина подземных водоводов и канализации достигла 16,6 км.

В 1964 г. на промплощадке № 7 была организована стационарная режимная сеть наблюдательных скважин. Проведенными наблюдениями установлено, что за пять лет с начала ее строительства на ней образовался водоносный горизонт мощностью 8—12 м. Самые вы-

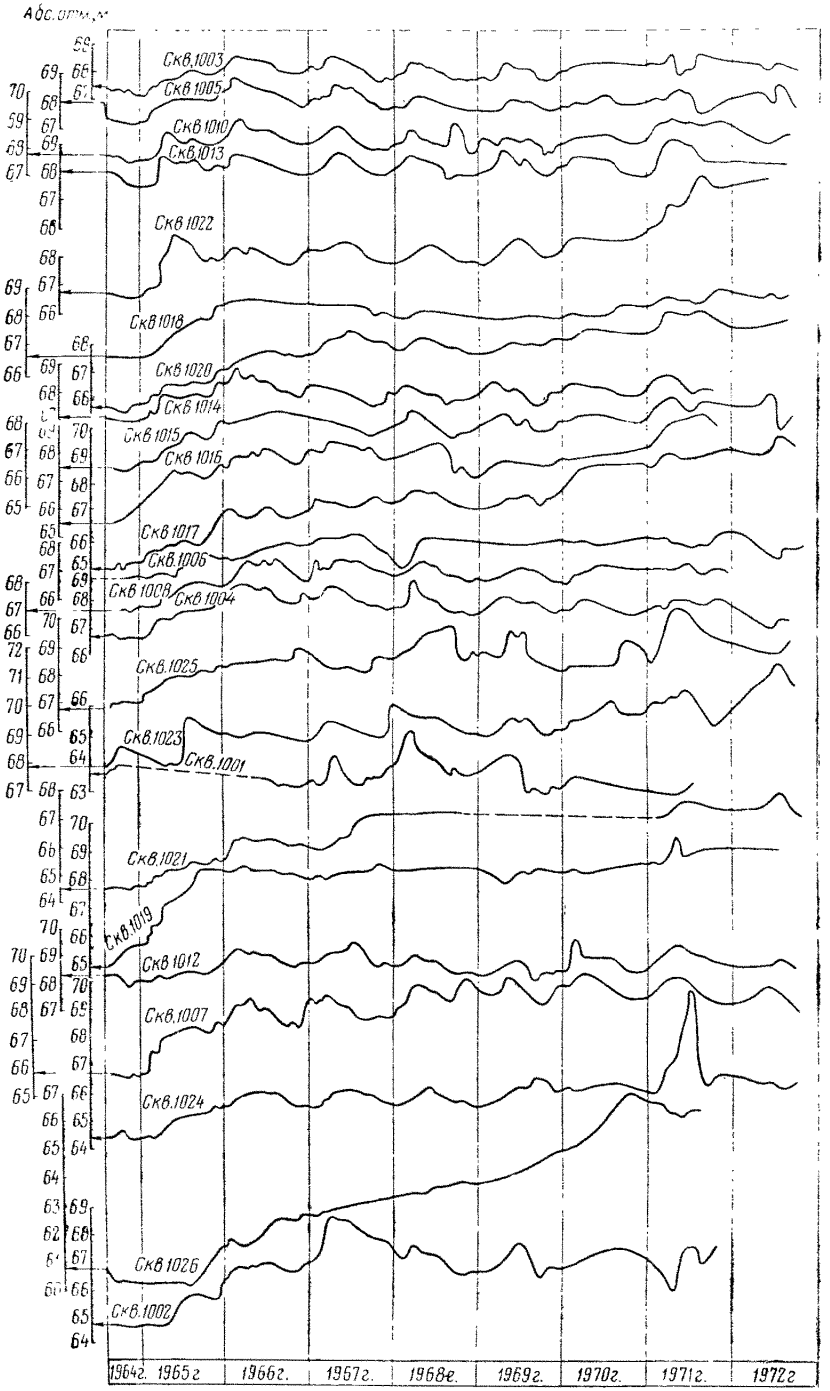


Рис. 29. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке №

сокие уровни грунтовых вод приурочены к участку расположения обогатительной фабрики, несмотря на то, что поверхность и водоупор имеют в этом районе довольно крутой склон. Основными источниками питания грунтовых вод здесь служат склад концентрата марганцевой руды и корпус дробления и промывки. Так, обогащенная руда при полном насыщении водой складируется в районе фабрики без применения каких-либо дренажных мероприятий. Это приводит к тому, что в течение почти всего года вокруг склада концентрата скапливается вода, которая инфильтруется в грунт.

С 1964 по 1967 г. повышение уровня грунтовых вод составило 1,2—1,8 м, а в 1966 г. оно было равно 0,5—0,8 м, причем в отдельных скважинах наблюдалось снижение уровня на 0,1—0,2 м. К концу 1967 г. в основном не наблюдалось подъема уровня (рис. 20). Общее повышение уровня с начала режимных наблюдений (конец 1964 г.) до конца 1967 г. составило максимум 2,07—3,52 м (скв. 1002, 1007, 1019, 1020), а минимум — 0,2 м.

Таблица 5

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 7

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность			Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
		всех наблюдений, лет	повышения уровня грунтовых вод				
			лет	месяцев			
1002	1964—1971	7	2	8	3,8	1,40	$1,92 \cdot 10^{-4}$
1004	1964—1972	8	1	4	1,95	1,50	$2,08 \cdot 10^{-4}$
1006	1964—1972	8	2	10	1,50	0,54	$0,74 \cdot 10^{-4}$
1007	1964—1972	8	4	6	3,60	0,80	$1,09 \cdot 10^{-4}$
1008	1964—1971	7	1	6	1,85	1,25	$1,70 \cdot 10^{-4}$
1012	1964—1972	8	1	5	1,35	0,96	$1,34 \cdot 10^{-4}$
1014	1964—1971	7	1	6	1,55	1,03	$1,42 \cdot 10^{-4}$
1015	1964—1972	8	1	8	2,00	1,17	$1,56 \cdot 10^{-4}$
1016	1964—1971	7	2	6	2,85	1,14	$1,56 \cdot 10^{-4}$
			2	7	1,60	0,70	$0,96 \cdot 10^{-4}$
1017	1964—1972	8	7	8	4,55	0,59	$0,79 \cdot 10^{-4}$
1018	1964—1972	8	1	5	2,0	1,43	$1,94 \cdot 10^{-4}$
			1	3	3,5	2,92	$0,41 \cdot 10^{-4}$
1019	1964—1972	8	1	7	1,30	0,81	$1,12 \cdot 10^{-4}$
1020	1964—1972	8	2	10	2,80	1,00	$1,37 \cdot 10^{-4}$
1021	1964—1972	8	2	11	2,50	0,86	$1,18 \cdot 10^{-4}$
1022	1964—1972	8	1	2	2,20	1,83	$2,52 \cdot 10^{-4}$
1023	1964—1972	8	7	10	2,90	0,37	$0,52 \cdot 10^{-4}$
1024	1964—1972	8	4	10	1,85	0,39	$0,54 \cdot 10^{-4}$
1025	1964—1972	8	6	3	3,50	0,52	$0,71 \cdot 10^{-4}$
1026	1964—1971	7	6	1	6,45	1,05	$1,45 \cdot 10^{-4}$
Среднее					2,60	1,06	$1,28 \cdot 10^{-4}$

В мае 1967 г. поверхность уровня грунтовых вод в районе промплощадки № 7 имела куполообразную форму. Максимальные абсолютные отметки уровня воды были приурочены к району расположения обогатительной фабрики.

В 1972 г. глубина залегания уровня грунтовых вод на ней колебалась от 2,3 до 8,3 м, в среднем она была равна 4,3 м. Максимальные глубины приурочены к участкам расположения корпуса дробления и складам мелкого концентрата и агломерата.

Величина подъема уровня грунтовых вод на отдельных участках промплощадки № 7 с 1958 по 1972 г. составляла 4,5—6,5 м.

По данным многолетних наблюдений среднегодовая скорость подъема уровня грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта варьирует в пределах 0,37—2,92 м/год. Средняя по 19 наблюдательным скважинам величина инфильтрационного питания грунтовых вод на промплощадке № 7 составляет $1{,}28 \cdot 10^{-4}$ м/сут (табл. 5).

Подъем уровня грунтовых вод на промплощадке № 7 вызвал осадку находящихся на ней зданий и сооружений. Так, на агломерационной фабрике корпус первичного смешивания имеет осадку 40—70 мм, галерея № 8 4—54 мм, перегрузочный узел 4—11 мм. Кроме того, на стенах некоторых зданий наблюдаются трещины шириной 15—40 мм.

Промплощадка № 8

Физико-географические условия. Промплощадка № 8 находится вблизи рассмотренной выше промплощадки № 7 на водоразделе двух рек. Поверхность ее почти ровная, со слабым уклоном к югу. Абсолютные отметки колеблются от 44 до 39 м. В 1965 г. на промплощадке № 8 построено горнорудное предприятие. Расположение его зданий и сооружений приводится на рис. 21.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Геологический разрез промплощадки № 8 (рис. 22) представлен макропористыми желто-бурыми суглинками с примесью карбонатов и включений окислов марганца. Ниже их залегают темно-серые и темно-бурые суглинки, палево-желтый и желтый лёсс, бурые и красно.бурые суглинки с гнездами гипса и карбонатов, желтый и серовато-желтый лёсс с включением окислов марганца. Подстилают комплекс лёссовидных пород красно-бурые твердые глины. До строительства промплощадки № 8 грунтовые воды на ее территории в лёссовидных суглинках и лёссах отсутствовали.

Водно-физические свойства суглинков и лёссов. Суглинки и лёссы обладают преимущественно твердой и полутвердой консистенцией. Объемная масса их колеблется в пределах 1,60—1,94 г/см^3, плотность — 2,70—2,72 г/см^3, естественная влажность — 15—25%, пористость — 40—54%. Число пластичности 8—17.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. После осуществления строительства и ввода в эксплуатацию промышленных объектов (1962—1965 гг.) на промплощадке № 8 стал наблюдаться подъем уровня грунтовых вод. Водоупором для них служат плотные красно-бурые глины, залегающие на глубине 25 м.

В 1967 г. на ее территории грунтовые воды были встречены на глубине 12—17 м. В этом году наиболее высокое положение их уровня зафиксировано на площадках под расширение корпуса промывки и флотации, корпуса обогащения и склада концентрата.

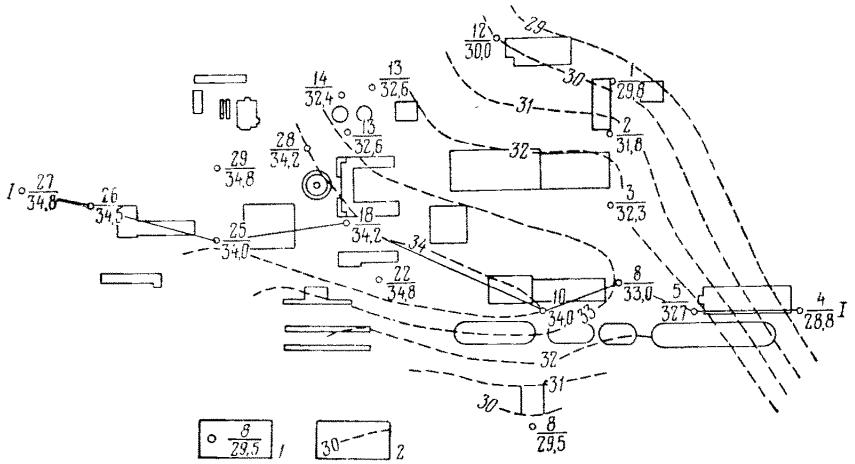


Рис. 21. План промплощадки № 8 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на август 1972 г.

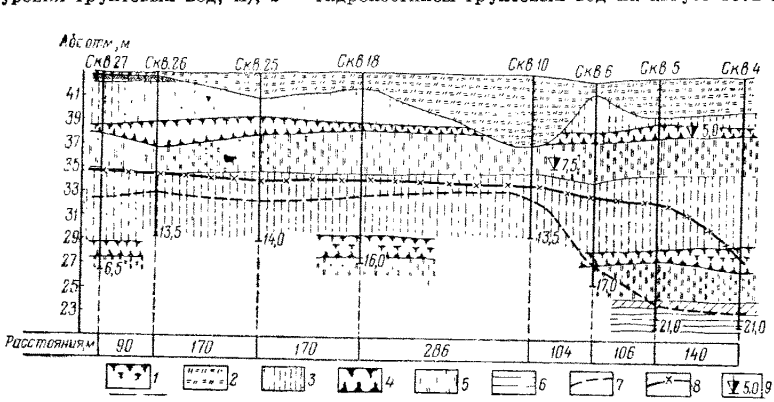


Рис. 22. Гидрогеологический разрез промплощадки № 8 по линии I—I.
1 — почвенно-растительный слой; *2* — насыпной грунт; *3* — суглинок лёссовидный; *4* — погребенная почва; *5* — лёсс; *6* — глина красно-бурая; *7* — уровень грунтовых вод на август 1968 г.; *8* — то же, на август 1972 г.; *9* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

В августе 1968 г. грунтовые воды на промплощадке № 8 имели уже сплошное распространение. В это время на их поверхности выделялись два купола, вершины которых были приурочены к участкам расположения брызгательного бассейна и корпуса обогащения, что связано с утечками производственных вод в этих местах (рис. 23).

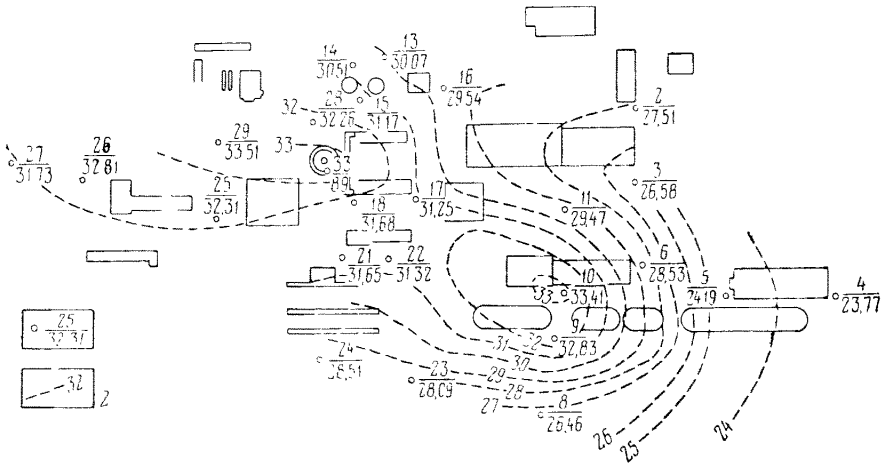


Рис. 23. Карта гидроизогипс грунтовых вод промплощадки № 8.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на август 1968 г.

Таблица 6

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 8

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность всех наблюдений, лет	Продолжительность повышения уровня грунтовых вод, лет	Продолжительность повышения уровня грунтовых вод, месяцев	Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
2	1968—1973	5	4	6	4,35	0,97	$1,33 \cdot 10^{-4}$
3	1968—1973	5	4	6	6,45	1,46	$1,96 \cdot 10^{-4}$
4	1968—1972	4	4	—	4,70	1,18	$1,61 \cdot 10^{-4}$
5	1968—1973	5	4	2	7,75	1,84	$2,53 \cdot 10^{-4}$
6	1968—1973	5	4	6	5,80	1,29	$1,77 \cdot 10^{-4}$
7	1968—1970	2	2	—	1,95	0,93	$1,27 \cdot 10^{-4}$
8	1968—1972	4	4	—	3,60	0,90	$1,00 \cdot 10^{-4}$
10	1968—1972	4	4	—	1,30	0,32	$0,44 \cdot 10^{-4}$
11	1968—1971	3	2	11	3,10	1,07	$1,46 \cdot 10^{-4}$
13	1968—1973	5	4	6	4,25	0,94	$1,29 \cdot 10^{-4}$
14	1968—1973	5	4	6	3,32	0,74	$1,01 \cdot 10^{-4}$
15	1968—1972	4	3	9	3,15	0,84	$1,15 \cdot 10^{-4}$
16	1968—1971	4	2	6	2,92	1,18	$1,16 \cdot 10^{-4}$
17	1968—1970	2	2	—	2,40	1,20	$1,64 \cdot 10^{-4}$
18	1968—1973	5	4	6	3,20	0,71	$0,97 \cdot 10^{-4}$
19	1968—1970	2		11	1,60	1,78	$2,43 \cdot 10^{-4}$
21	1968—1971	3	2	5	1,40	0,58	$0,79 \cdot 10^{-4}$
22	1968—1972	4	3	3	2,55	0,78	$1,07 \cdot 10^{-4}$
25	1968—1972	4	4	—	2,80	0,70	$0,95 \cdot 10^{-4}$
26	1968—1972	4	3	10	3,25	0,85	$1,17 \cdot 10^{-4}$
27	1968—1972	4	4	—	3,75	0,94	$1,88 \cdot 10^{-4}$
28	1968—1972	4	4	—	2,55	0,64	$1,88 \cdot 10^{-4}$
29	1968—1972	4	4	—	2,70	0,625	$1,92 \cdot 10^{-4}$
Среднее					3,42	0,98	$1,42 \cdot 10^{-4}$

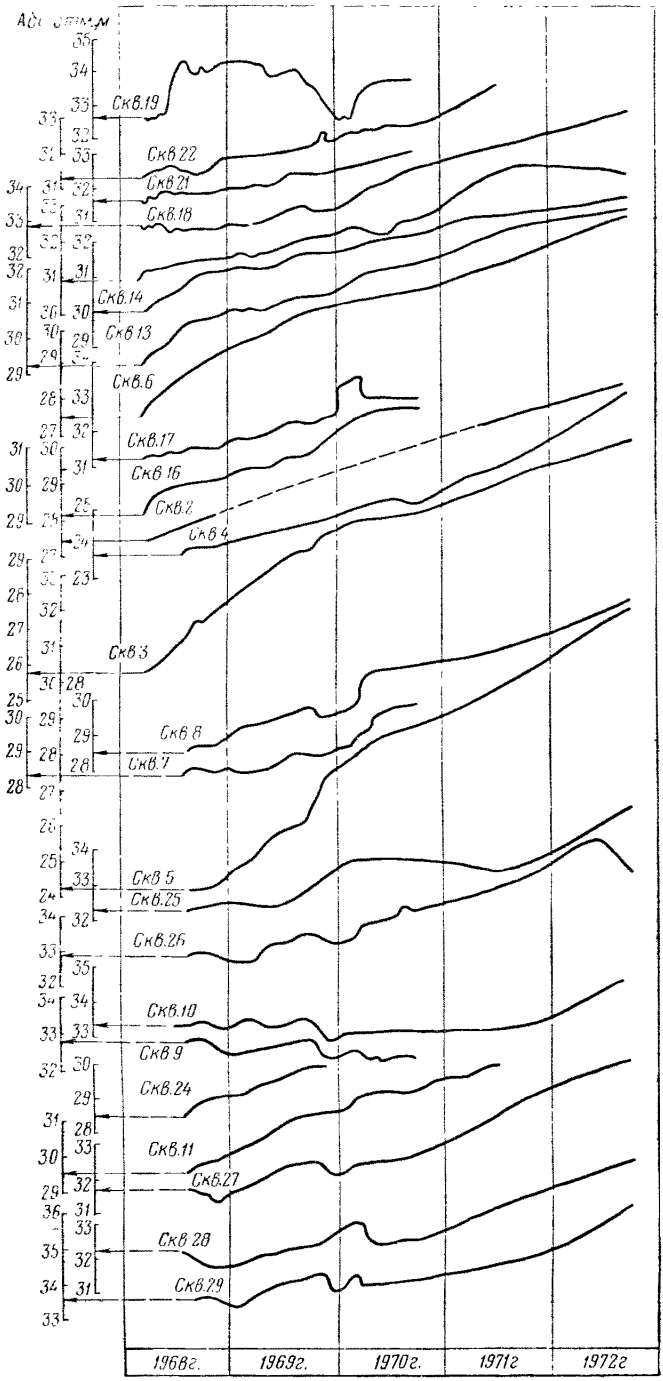


Рис. 24. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 8

За период с 1968 по 1972 г. на ней произошел подъем уровня грунтовых вод от 1,3 до 7,75 м (рис. 24). Среднегодовая скорость повышения уровня воды колебалась от 0,32 до 1, 84 м, а величина многолетнего инфильтрационного питания их составляла $0{,}44 \cdot 10^{-4}$—$2{,}5 \times 10^{-4}$ м/сут (табл. 6).

Из рис. 24 видно, что на промплощадке № 8 процесс подъема уровня грунтовых вод продолжается. В августе 1972 г. минимальная глубина его залегания составляла 6,3 м, максимальная— 13,7 м, а средняя — 9,2 м.

Высокое положение уровня грунтовых вод на промплощадке № 8 привело к осадке ряда зданий и сооружений. Так, некоторые здания имеют осадку от 10 до 35 мм, самотечный шламопровод — 178 мм, плита склада крупного концентрата — 100 мм. Пристройки подстанций к корпусам пульпонасосных станций № 1 и 2, выполненные на обратных засыпках, имеют трещины шириной до 45 мм.

Промплощадка № 9

Физико-географические условия. Промплощадка № 9 расположена в районе степной равнины Украины, расчлененной долинами рек, а также балками и оврагами. Территория ее приурочена к пологому склону одной балки, абсолютные отметки поверхности которой 95—85 м. В 1959—1961 гг. на ней построено горнорудное предприятие (рис. 25). Климат района промплощадки № 9 умеренно континентальный и характеризуется частыми засушливыми ветрами. Среднегодовое количество осадков за период многолетних наблюдений (1958—1972 гг.) составляет 462 мм. Максимальное количество их выпадает в летнее время, т. е. в период наибольшего испарения.

Температура воздуха колеблется от минус 5—6° С до плюс 22,6° С. Наиболее холодный месяц — февраль. Средняя глубина промерзания почвы 0,5 м, наибольшая — 1,25 м. Зимы малоснежные. Максимальная абсолютная влажность воздуха (16,9%) отмечается в июле и августе, а минимальная (4,0%) — в январе.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Геологическое строение промплощадки № 9 (рис. 26) представлено насыпным грунтом, почвенным слоем, лёссовидными буровато-желтыми макропористыми суглинками, макропористым палево-желтым лёссом, в котором встречаются включения мелкокристаллического гипса и мягкой порошкообразной извести. Ниже лёсса залегают желто-бурые, бурые и палево-желтые лёссовидные суглинки. Последние слабомакропористые, очень влажные, в значительной степени деградированные и содержат включения гипса, извести и окислов марганца. Подстилаются они очень плотными вязкими красно-бурыми глинами. За ними следуют палеогеновые и неогеновые отложения, представленные известняком, мергелем, мелкозернистым песком и глиной с обломками ракушек.

В природных условиях на территории промплощадки № 9 в пределах глубины заложения фундаментов грунтовые воды имели распространение в виде разобщенных линз и прослоев. Мощность обвод-

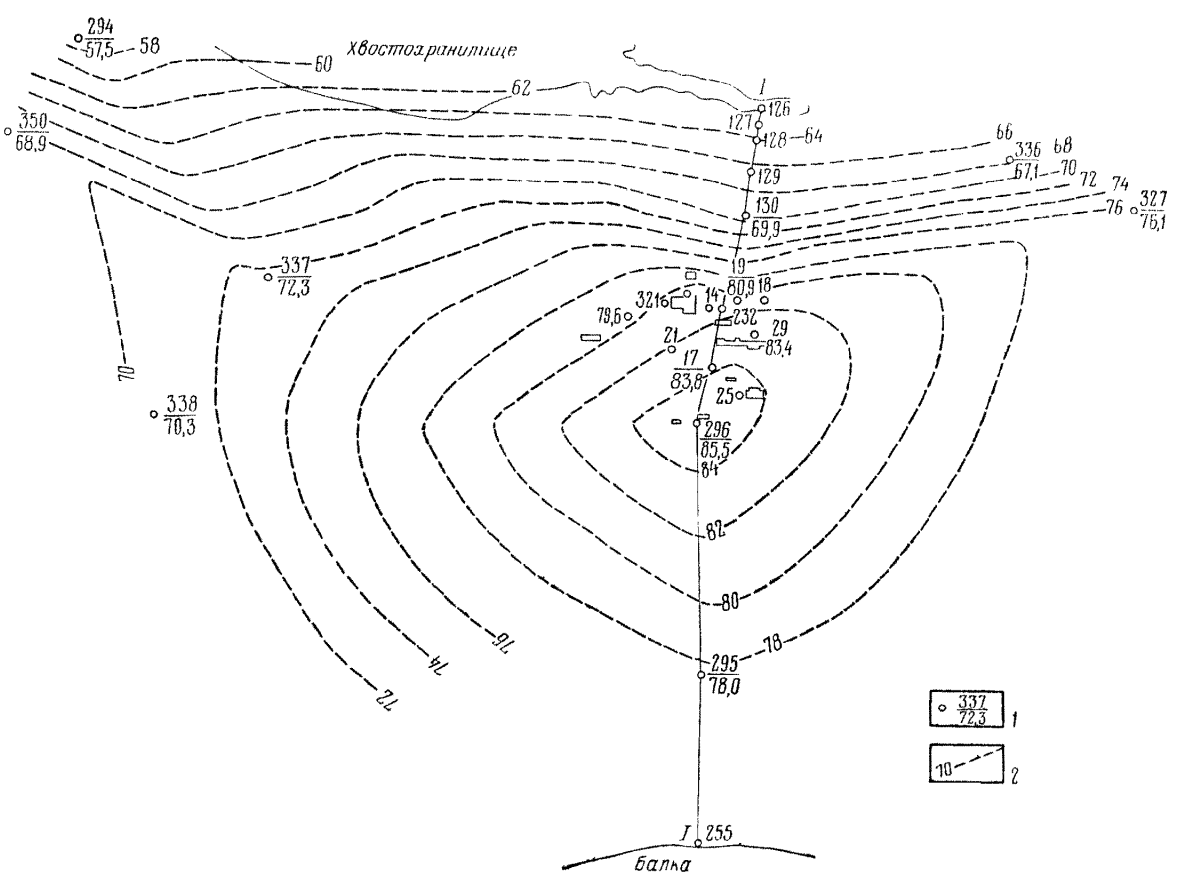


Рис. 25. План промплощадки № 9 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на март 1972 г.

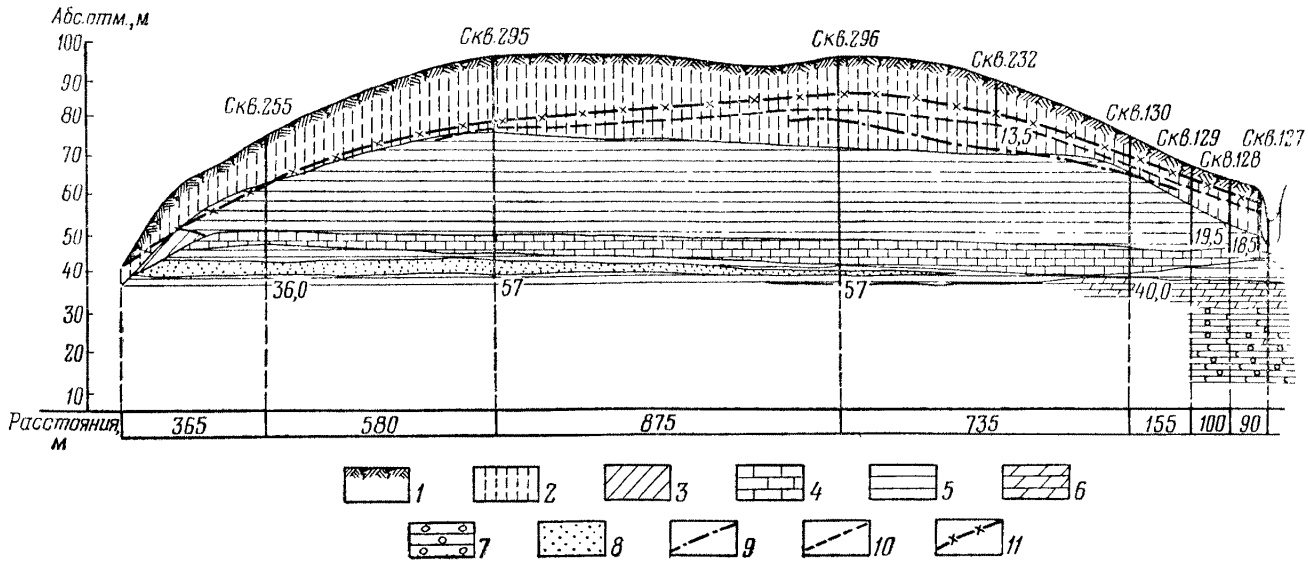


Рис. 26. Гидрогеологический разрез промплощадки № 9 по линии I—I.

1 — почвенно-растительный слой; *2* — суглинок лёссовидный; *3* — глина красно-бурая; *4* — известняк; *5* — глина зеленоватая; *6* — мергель; *7* — глина с обломками ракушек; *8* — песок мелкозернистый; *9* — бытовой уровень грунтовых вод; *10* — уровень грунтовых вод после застройки территории на сентябрь 1965 г.; *11* — то же, на март 1972 г.

ненного слоя обычно равнялась 1,5—2,0 м. Уровень воды залегал на глубине 13—20 м. Питание грунтовых вод осуществлялось атмосферными осадками, а их дренирование — овражно-балочной сетью. Водоупором служат плотные красно-бурые глины.

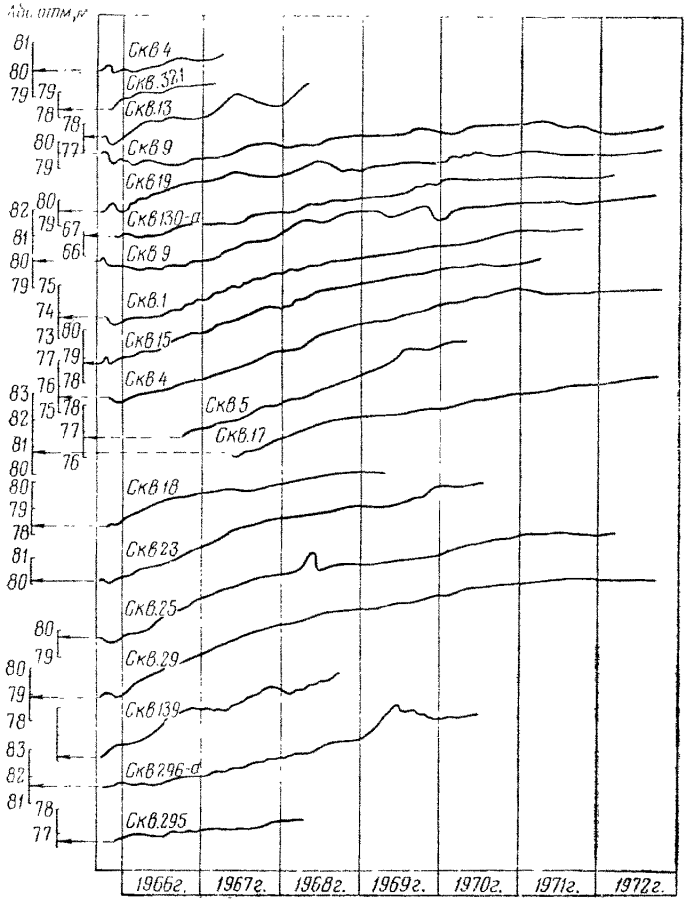


Рис. 27. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 9

По данным опытных откачек из двух гидрогеологических кустов скважин средний коэффициент фильтрации грунтов лёссового комплекса, слагающих промплощадку № 9, равен 0,14 м/сут.

Водно-физические свойства суглинков и лёсса. Объемная масса лёссовидных суглинков и лёсса при естественном их сложении изменяется от 1,68 до 1,97 г/см^3, плотность — от 2,70 до 2,72 г/см^3, пористость — от 36 до 48%, коэффициент пористости — от 0,56 до 0,92, число пластичности — от 6 до 15. Консистенция их в основном полутвердая и твердая, а величина относительной просадочности составляет 0,004—0,030.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Анализ материалов инженерно-геологических изысканий показывает, что еще в 1958—1960 гг. при строительстве на промплощадке № 9 горнорудного предприятия обнаруживались на ней случаи подъема уровня грунтовых вод. Значительно он повысился на участках расположения корпуса мелкого концентрата и фильтрации. В 1959 г. здесь грунтовые воды залегали на глубине 15,75 м, а в 1965 г. их уровень поднялся до глубины 10 м. В районе корпуса дробления и промывки, корпуса обогащения уровень грунтовых вод за шесть лет поднялся на 5—6 м, а на территории расположения корпуса приема руды — на 2,5—3,0 м. В 1965 г. здесь образовалась куполообразная форма поверхности грунтовых вод.

С 1965 по 1972 г. процесс подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 9 продолжался (рис. 27). В наибольшей степени он наблюдался по-прежнему на участках расположения склада крупного концентрата, корпуса обогащения, корпуса дробления и промывки, корпуса фильтрации и мелкого концентрата, корпуса приема руды. Величина повышения уровня грунтовых вод изменялась от 0,6 до

Таблица 7

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 9

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность			Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
		всех наблюдений, лет	повышения уровня грунтовых вод				
			лет	месяцев			
1	1965—1971	6	5	3	3,25	0,62	$0,84 \cdot 10^{-4}$
4	1965—1972	7	5	2	4,10	0,79	$1,08 \cdot 10^{-4}$
5	1966—1970	4	3	7	3,70	1,03	$1,40 \cdot 10^{-4}$
6	1965—1972	7	5	5	1,10	0,20	$0,27 \cdot 10^{-4}$
9	1965—1972	7	4	1	2,15	0,52	$0,72 \cdot 10^{-4}$
13	1965—1968	3	2	7	2,00	0,77	$1,0 \cdot 10^{-4}$
14	1965—1967	2	1	6	0,60	0,40	$0,55 \cdot 10^{-4}$
15	1965—1971	6	5	6	4,00	0,73	$1,0 \cdot 10^{-4}$
17	1967—1973	6	5	4	2,95	0,56	$0,76 \cdot 10^{-4}$
18	1966—1970	4	3	6	2,10	0,60	$0,82 \cdot 10^{-4}$
19	1965—1972	7	4	10	2,25	0,48	$0,64 \cdot 10^{-4}$
23	1965—1970	5	4	10	3,80	0,79	$1,08 \cdot 10^{-4}$
25	1965—1972	7	5	9	4,00	0,70	$0,96 \cdot 10^{-4}$
29	1965—1972	7	5	9	4,45	0,78	$1,07 \cdot 10^{-4}$
130а	1966—1971	5	4	4	2,15	0,50	$0,69 \cdot 10^{-4}$
139	1965—1968	3	3	—	3,15	1,05	$1,44 \cdot 10^{-4}$
295	1966—1969	3	2	4	0,90	0,39	$0,54 \cdot 10^{-4}$
296а	1966—1971	5	4	7	2,80	0,61	$0,83 \cdot 10^{-4}$
321	1965—1967	2	1	3	1,00	0,80	$1,1 \cdot 10^{-4}$
Среднее					2,66	0,65	$0,88 \cdot 10^{-4}$

4,4 м, среднегодовая скорость подъема уровня воды составляла 0,2—1,05 м/год, а величина многолетнего инфильтрационного питания их — $0{,}2 \cdot 10^{-4}$—$1{,}44 \cdot 10^{-4}$ м/сут (табл. 7).

С 1972 г. на промплощадке № 9 наступила некоторая стабилизация в положении уровня грунтовых вод. В марте 1972 г. их поверхность представляла форму купола, вершина которого располагалась в районе скв. 296а, уклоны поверхности воды были направлены в сторону хвостохранилища и балки. В это время минимальная глубина залегания уровня грунтовых вод здесь составляла 5,7 м, максимальная — 11,2, а средняя по 11 наблюдательным скважинам — 8,3 м.

Данные наблюдений маркшейдерской службы предприятия свидетельствуют, что в 1965 г. корпуса приема руды, дробления и склада мелкого концентрата имели небольшие (до 30 мм) равномерные осадки. В то же время по корпусу обогащения отмечены неравномерные осадки на северной и южной сторонах с разницей порядка 30—35 мм. В результате этого произошел перекос здания в северную сторону, что вызвало смещение опирающихся галерей на величину до 80 мм. Это обстоятельство привело галереи в аварийное состояние.

Промплощадка № 10

Физико-географические условия. Промплощадка № 10 расположена на Украине в районе степной равнины на первой надпойменной террасе долины реки. План расположения на ней зданий и сооружений изображен на рис. 28. Характерной чертой района промплощадки № 10 является развитие подов, т. е. плоских блюдцеобразных бессточных понижений, достигающих значительных размеров, которые являются местами для сбора талых атмосферных вод. Поэтому они служат областью питания грунтовых вод.

Промплощадка № 10 входит в зону полузасушливых степей. Климат здесь умеренно континентальный с частыми сухими ветрами и преобладанием испарения над выпадением атмосферных осадков. Смена времен года происходит постепенно, без резких температурных изменений. Зима мягкая и малоснежная. Снег более или менее сохраняется в течение двух месяцев (январь, февраль). Максимальная высота покрова снега не превышает 8—10 см. Температура воздуха в зимний период колеблется от —2 до —5° С и в редких случаях снижается до —20° С. В зимние месяцы часто наблюдается положительная температура воздуха (до +15° С). Максимальная глубина промерзания почвы около метра. Чаще же она не превышает 50—60 см. В летний период температура воздуха достигает 38—39°С.

Среднемесячное выпадение осадков изменяется от 22 мм в марте до 50 мм в июне. Среднегодовая сумма осадков равна 396 мм. Основные осадки выпадают в летние месяцы в виде дождей и ливней и достигают 20—30 мм в сутки. Испарение с поверхности суши составляет 490 мм. При этом наиболее интенсивное испарение, так же как и наибольшее количество осадков, отмечается в летний период.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Покровная толща четвертичных образований, где располагаются фундаменты

зданий и сооружений, представлена светло-бурыми лёссовидными суглинками, переходящими книзу в макропористые суглинки палево-желтого цвета (рис. 29). Последние залегают на бурых суглинках. Ниже их следует не выдержанный по мощности и распространению прослой макропористого суглинка вновь палево-желтого цвета. Вышеописанные суглинки подстилаются красно-бурыми тяжелыми суглинками (глинами). Кровля красно-бурых глин в пределах промплощадки № 10 залегает на глубине 10—13 м.

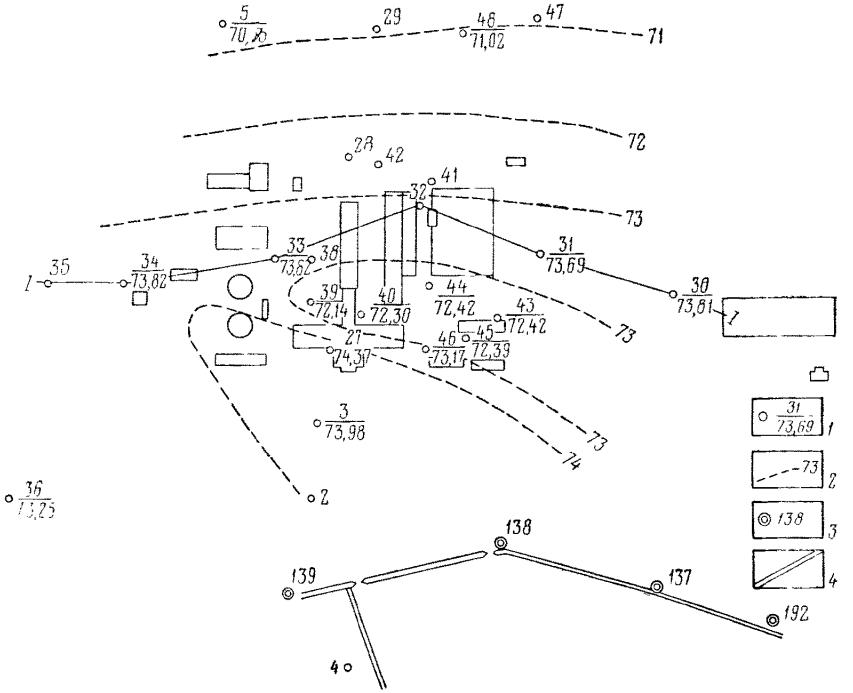


Рис. 28. План промплощадки № 10 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на февраль 1973 г.; *3* — водопонижающие скважины; *4* — водоотводные канавы

Грунтовые воды в природных условиях встречаются спорадически на глубине 12—13 м от поверхности и имеют в основном сезонный характер. Существование их связано с переувлажненными периодами года.

Наибольшей водопроницаемостью обладают макропористые лёссовидные суглинки палево-желтого цвета, коэффициент фильтрации которых колеблется от 0,086 до 0,163 м/сут, а наименьшей (0,014—0,017 м/сут) — средние и тяжелые суглинки красно-бурого цвета.

Водно-физические свойства грунтов. Светло-бурые, бурые и палево-желтые суглинки характеризуются следующими свойствами: объемная масса 1,7—1,96 г/см^3, пористость 38—46%, коэффициент пористости 0,63—0,87, число пластичности 8,5—12,6, относительная

просадочность 0,008—0,02. Бурые суглинки по гранулометрическому составу пылеватые, в большинстве своем они служат как основания для фундаментов зданий и сооружений.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Первые нарушения природных гидрогеологических условий промплощадки № 10 были связаны с началом опытно-производственного водопонижания на шахтном поле разрабатываемого месторождения. Они заключались в том, что откачиваемая при помощи водопонижающих скважин вода из глубоких водоносных горизонтов сбрасывалась в открытые водоотводные каналы, в результате чего из последних происходила инфильтрация воды в почвенно-растительный

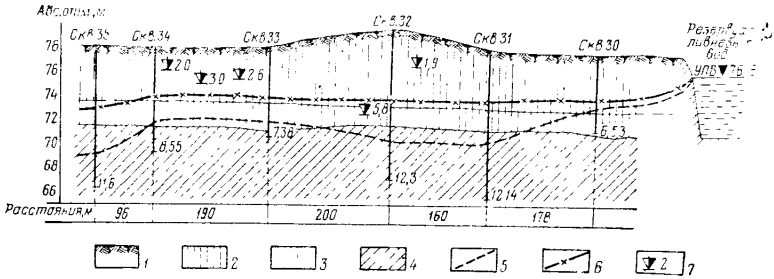


Рис. 29. Гидрогеологический разрез промплощадки № 10 по линии I—I.

1 — почвенно-растительный слой; *2* — суглинок бурый с известковыми включениями; *3* — суглинок светло-бурый макропористый; *4* — суглинок бурый плотный; *5* — уровень грунтовых вод после застройки территории на декабрь 1967 г.; *6* — то же, на февраль 1973 г.; *7* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

слой и лёссовидные суглинки. В дальнейшем существенное влияние на изменение природных условий исследуемой территории стало оказывать строительство (1963—1969 гг.), а затем и эксплуатация горнорудного предприятия.

Анализ наблюдений, проведенных институтом ВИОГЕМ, показал, что уже в 1965 г. наиболее высокое положение уровня грунтовых вод было приурочено к площадям, прилегающим к трассам водоотводных каналов. Здесь глубина залегания уровня воды достигала менее 1,5 м. С удалением от каналов уровень грунтовых вод понижался, достигая на расстоянии 200—300 м от них глубины более 10 м от поверхности земли. При этом установлено, что инфильтрация воды из каналов в четвертичные суглинки происходит преимущественно через их донную часть. По данным опытных наблюдений и расчетов потери воды в суглинки на 1 м длины канала составляют 0,27 м³/сут.

Залегание лёссовидных макропористых суглинков на более плотных бурых суглинках и красно-бурых глинах создает благоприятные условия накопления грунтовых вод. Ровный рельеф и отсутствие гидрографической сети почти исключают поверхностный сток атмосферных осадков и дренирование грунтовых вод. За 2,5 года (август 1965 г. — январь 1968 г.) уровень грунтовых вод на промплощадке

№ 10 поднялся на 3—5 м до глубины 5,5—8,5 м от поверхности земли (рис. 30).

В 1969 г. на территории промплощадки № 10 отмечалось повсеместное повышение уровня грунтовых вод в среднем на 1 м. Исклю-

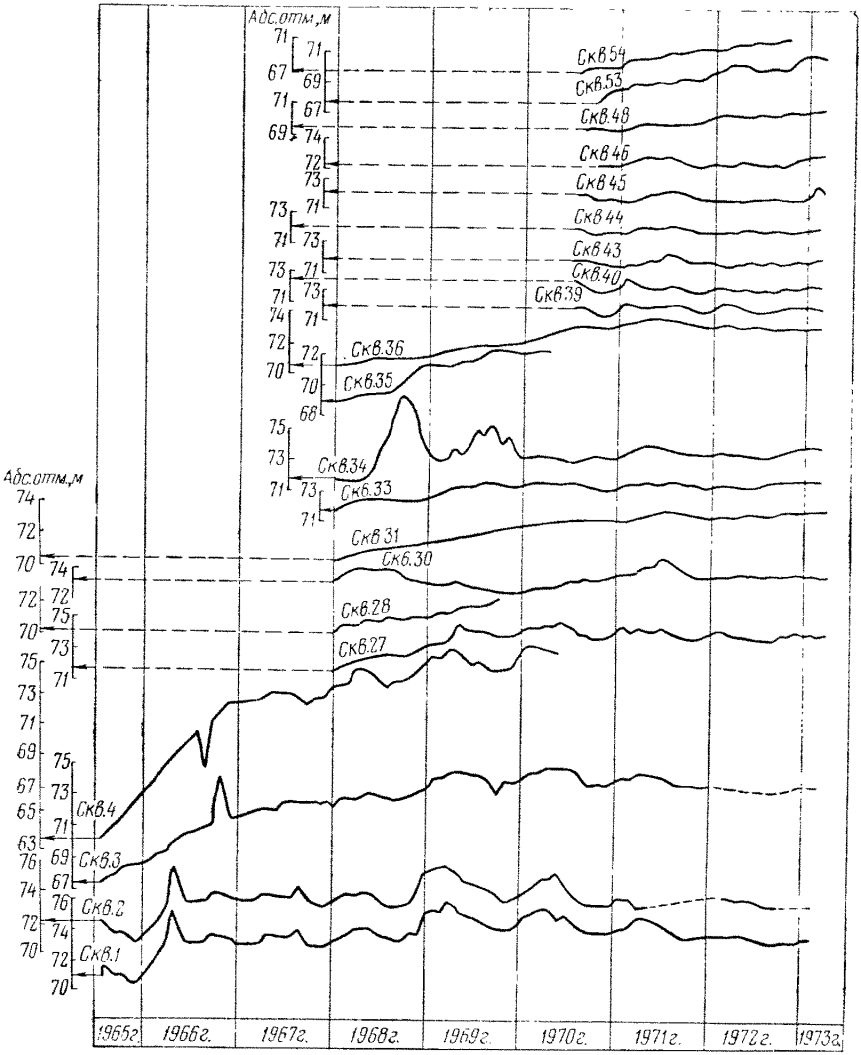


Рис. 30. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 10

чение составили ее северный и южный фланги. Затем в результате ликвидации местных источников обводнения (утечек из градирни и бассейна ливневых вод) наблюдалось понижение уровня грунтовых вод, которое к концу года достигло 0,6 м.

В 1970 г. по-прежнему наблюдалось повышение уровня воды (табл. 8). К концу года фундаменты основных инженерных сооружений были подтоплены грунтовыми водами. Наиболее высокое положение уровня грунтовых вод (2,6 м от поверхности земли) отмечалось на участке расположения бытового комбината. Однако в 1971 г. здесь уровень воды понизился на 1 м, что явилось результатом упорядочения водохозяйственных коммуникаций на этом объекте.

Таблица 8

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 10

№ скважины	Период наблюдений, годы	Продолжительность			Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
		всех наблюдений, лет	повышения уровня грунтовых вод				
			лет	месяцев			
33	1968—1973	5	4	11	2,00	0,41	$0,56 \cdot 10^{-4}$
34	1968—1973	5		9	5,30	7,92	$10,35 \cdot 10^{-4}$
35	1967—1970	3	2	4	3,40	1,44	$1,98 \cdot 10^{-4}$
36	1968—1973	5	3	6	3,30	0,94	$1,29 \cdot 10^{-4}$
39	1970—1973	3	1	8	0,40	0,28	$0,32 \cdot 10^{-4}$
43	1970—1973	3	1	—	0,40	0,40	$0,55 \cdot 10^{-4}$
46	1970—1973	3	2	5	0,70	0,29	$0,39 \cdot 10^{-4}$
47	1970—1972	2	1	1	1,10	1,00	$1,37 \cdot 10^{-4}$
48	1970—1973	3	2	7	1,40	0,54	$0,74 \cdot 10^{-4}$
53	1970—1973	3	2	4	3,20	1,39	$1,9 \cdot 10^{-4}$
54	1970—1972	3	2	2	2,30	1,05	$1,4 \cdot 10^{-4}$
Среднее					2,14	1,42	$1,82 \cdot 10^{-4}$

Анализ многолетних наблюдений показывает, что средняя скорость подъема уровня воды на промплощадке № 10 составляет 1,42 м/год. Величина их многолетнего инфильтрационного питания варьирует в пределах от $0,32 \cdot 10^{-4}$ до $10,35 \cdot 10^{-4}$ м/сут, в среднем она равна $1,82 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Положение уровня грунтовых вод на промплощадке № 10 в 1973 г. изображено на рис. 28. Как следует из рис. 28, поток грунтовых вод направлен от шахтного поля, где расположены водоотводные канавы, на север. Абсолютные отметки поверхности воды изменяются от 74 до 72 м. Глубина уровня воды составляет 4—7 м.

Промплощадка № 11

Физико-географические условия. Промплощадка № 11 находится в центре европейской части СССР на водоразделе двух рек и склоне речной долины. На восточной ее окраине расположен отрог балки.

Рельеф территории промплощадки № 11 неровный. Понижение его происходит в сторону речных долин и балок. План расположения зданий и сооружений на промплощадке № 11 приводится на рис. 3.1

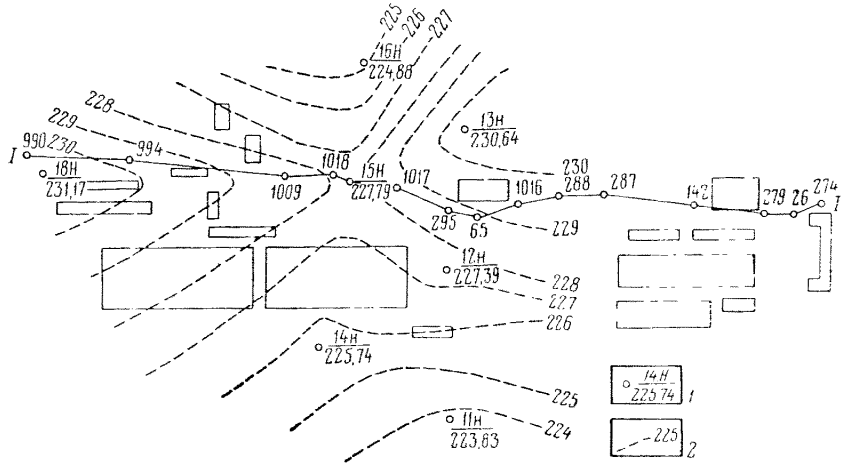


Рис. 31. План промплощадки № 11 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на апрель 1970 г.

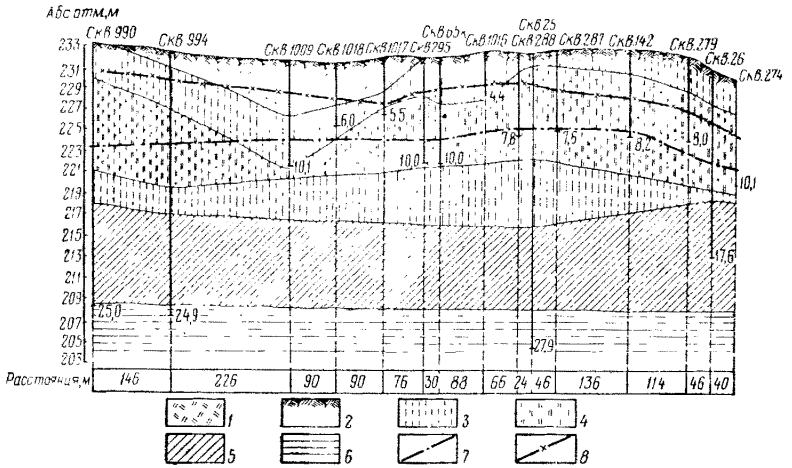


Рис. 32. Гидрогеологический разрез промплощадки №11 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок лёссовидный; *4* — супесь лёссовидная; *5* — суглинок делювиальный; *6* — глина; *7* — бытовой уровень грунтовых вод на июль 1957 г.; *8* — уровень грунтовых вод после застройки территории на апрель 1970 г.

Среднегодовая температура воздуха здесь равна +4.8° С. Продолжительность теплого сезона составляет 220—240 дней, холодного— 120—150 дней. Снеговой покров сохраняется с ноября по март включительно. Среднегодовое количество осадков составляет 592 мм. Наибольшее их количество выпадает в июне, июле, а наименьшее —

в марте. Величина испарения с поверхности земли для рассматриваемого района равна 481 мм.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В верхней части геологического разреза промплощадки № 11 находятся четвертичные лёссовидные слабомакропористые суглинки светло-бурой, бурой и палево-желтой окраски с пятнами ожелезнения (рис. 32). Ниже этих суглинков залегает слабо уплотненная супесь, местами она макропористая с точечными включениями окислов марганца и железа. Под супесью залегают делювиальные плотные суглинки желто-серой до зеленой и коричнево-бурой окраски. Суглинки слегка слоистые, местами переходят в тяжелую супесь и содержат гидроокислы железа и стяжения марганца. В основании суглинков залегают палеогеновые серовато-зеленые и зеленые глины.

Четвертичный водоносный горизонт на промплощадке № 11 в природных условиях был распространен на всей ее территории и приурочен к суглинкам и супесям. Воды безнапорные, питаются атмосферными осадками. Уровень грунтовых вод залегал на глубине 7—12 м и более. Движение их направлено к рекам. Преобладающая мощность четвертичного водоносного горизонта составляла 10—12 м. По данным опытных фильтрационных работ водосодержащие породы четвертичного возраста обладают низкими фильтрационными свойствами. Коэффициент фильтрации колеблется от 0,007 до 0,82 м/сут, средняя его величина составляет 0,39 м/сут.

Водно-физические свойства суглинков и супеси. Лёссовидные суглинки содержат: песка до 21,5%, пылеватых частиц 42—75% и глинистой фракции 7,5—28,4%. В период изысканий они обладали просадкой. Естественная влажность их 7,63—29,65%, объемная масса при естественном сложении 1,88—2,11 г/см^3, пористость 33,4—47,7%, коэффициент пористости 0,5—0,93.

В лёссовидной супеси содержание глинистых фракций достигает 14%, песчаных — 20% и пылеватых — 88%. Объемная масса их равна 1,75—2,14 г/см^3, плотность — 2,15—2,75 г/см^3, естественная влажность — 3,66—24,65%, пористость — 28,6—42,6%, коэффициент пористости — 0,40—0,72, число пластичности — 2—6,5.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. В результате строительства горнорудного предприятия на территории промплощадки № 11 был нарушен рельеф местности. Это привело к ухудшению на ней условий поверхностного стока и повышению инфильтрации атмосферных осадков и талых вод в грунт.

Кроме того, при обследовании промплощадки № 11 установлен ряд нарушений в ее эксплуатации. Так, отвод поверхностных вод по проекту должен был осуществляться через систему кюветов и водовыпусков в реку. Практически кюветы и водовыпуски заилены и пересыпаны мусором, что затрудняет сток атмосферных вод и способствует инфильтрации их в грунт. Строительство цехов с большим водопотреблением также создало возможность накопления воды в грунтах за счет утечек из подземных водонесущих коммуникаций. За 9 лет строительства и эксплуатации промплощадки № 11 (1957—1965 гг.) уровень грунтовых вод на ней поднялся от 2,8 м

(территория центральных мастерских) до 5,7 м (участок корпуса сушки).

В 1968—1970 гг. на промплощадке № 11 институтом ВИОГЕМ под руководством М. А. Забейды проводились станционарные режимные наблюдения за уровнем грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта. Результаты наблюдений показали, что в данный период в некоторых наблюдательных скважинах продолжался подъем уровня грунтовых вод. С наибольшей среднегодовой скоростью (3,6 м) повышение уровня воды происходило в скв. 18н, расположенной у корпуса сушки (табл. 9).

Таблица 9

Основные элементы режима грунтовых вод на промплощадке № 11 за период наблюдений 1968—1970 гг.

№ скважины	Продолжительность		Общая величина повышения уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость повышения уровня грунтовых вод, м/год	Величина инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут
	всех наблюдений, лет	повышения уровня грунтовых вод, месяцы			
13н	2	10	1,0	1,20	$1{,}71 \cdot 10^{-4}$
14н	2	11	2,5	2,76	$3{,}81 \cdot 10^{-4}$
15н	2	11	0,5	0,55	$0{,}79 \cdot 10^{-4}$
16н	2	11	1,5	1,63	$2{,}28 \cdot 10^{-4}$
18н	2	11	3,3	3,60	$5{,}03 \cdot 10^{-4}$
Среднее			1,76	1,95	$2{,}73 \cdot 10^{-4}$

На других участках промплощадки № 11 скорость подъема уровня изменялась от 0,55 до 2,76 м. Величина инфильтрационного питания грунтовых вод составляла $0{,}79 \cdot 10^{-4}$—$5{,}03 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Максимальное положение уровня грунтовых вод отмечалось в апреле — мае, а минимальное — в марте и октябре. Амплитуда весеннего подъема достигла 2 м и более. В весенний период кривые подъема уровня воды осложнялись за счет инфильтрации атмосферных осадков и потерь промышленно-хозяйственных вод. Так, в третьей декаде января 1969 г. при прокачке теплотрассы в районе скв. 16н была спущена теплая вода. Последняя, инфильтруясь в грунт, вызвала подъем уровня воды в скв. 16н. В апреле 1970 г. наиболее высокие отметки уровня грунтовых вод были приурочены к участку расположения локомотивного депо и корпуса сушки. Глубина их уровня колебалась от 0,9 до 3,13 м, в среднем она была равна 2,0 м.

Территория города

Физико-географические условия. Территория города расположена в степной части Украины на водоразделе реки и балки. Рельеф ее довольно ровный, имеет незначительный общий уклон с северо-запада

на юго-восток. Абсолютные отметки поверхности территории города изменяются от 89 до 99 м. Климатические условия ее аналогичны условиям на промплощадках № 1—5. План территории города показан на рис. 33.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Геологический разрез территории города представлен шестью горизонтами

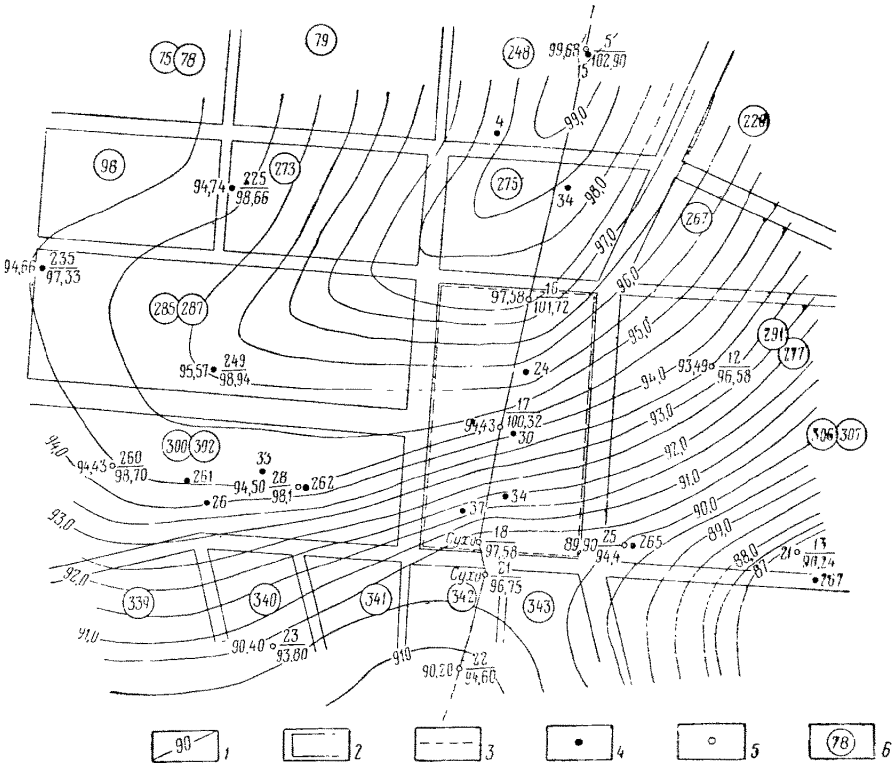


Рис. 33. План территории города с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.

1 — гидроизогипсы грунтовых вод на ноябрь 1969 г.; *2* — контуры кварталов; *3* — границы незастроенной территории; *4* — скважины, пробуренные в 1962 г. (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка поверхности земли, число слева — отметка уровня грунтовых вод, м); *5* — то же, в 1969 г.; *6* — номера кварталов

лёссовидных суглинков, залегающих на красно-бурых глинах (рис. 34). Суглинки в большей части макропористые, пылеватые, средние и тяжелые желто-бурого, темно-бурого и палево-желтого цвета. Местами содержат примеси гипса и карбонатов. При проведении инженерно-геологических изысканий на территории города в период 1945—1948 гг. (до строительства города) грунтовые воды в лёссовидных суглинках отсутствовали.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Основная застройка территории города была произведена до 1960 г. Оставшаяся часть города застраивалась до 1970 г.

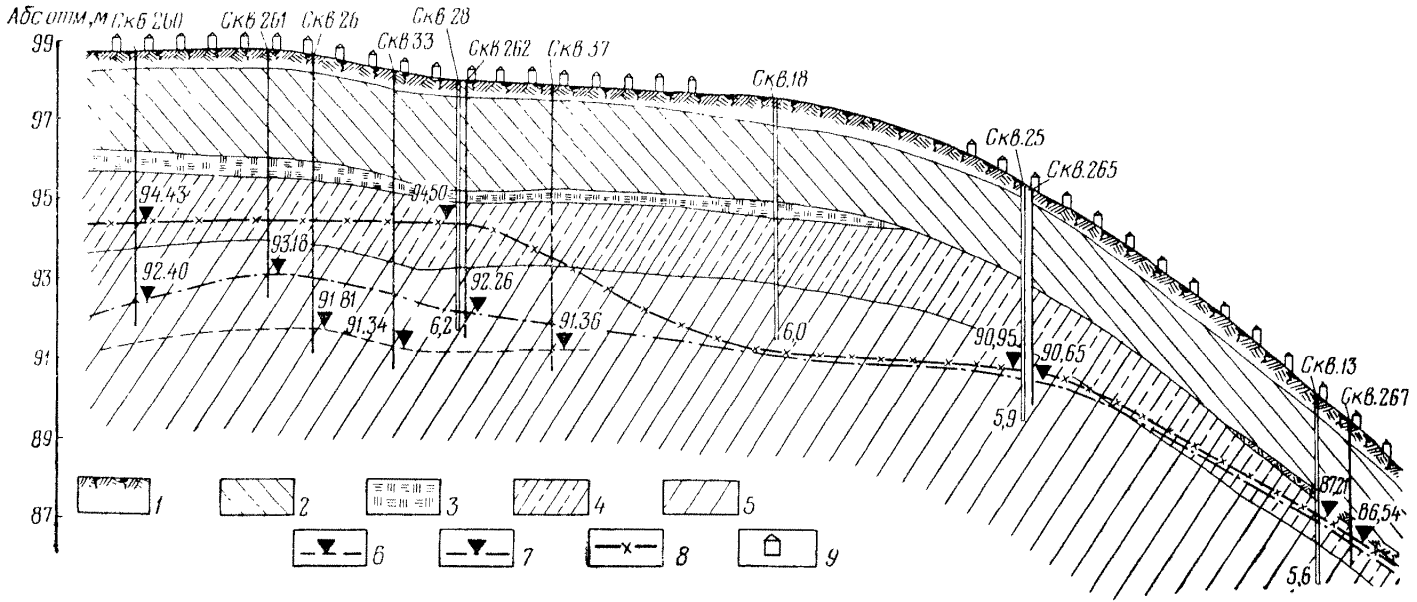


Рис. 34. Гидрогеологический разрез территории города по линии I—I.

1 — почвенный слой; *2* — суглинок желто-бурый; *3* — погребенная почва; *4* — суглинок палево-желтый; *5* — суглинок бурый; *6* — положение уровня грунтовых вод на 1961 г.; *7* — то же, на 1962 г.; *8* — то же, на 1969 г.; *9* — застроенная территория

Уже в 1953 г. проведенными изысканиями на территории кварталов № 75, 76 и 78 были встречены грунтовые воды на глубине 3—6 м. После окончания бурения вода в скважине обнаруживалась лишь спустя несколько часов.

В 1957 г. проводились изыскания на территории кварталов 300—302, где грунтовые воды обнаруживались в среднем на глубине 5 м. При застройке некоторых других кварталов города глубина уровня грунтовых вод на их территориях приводится в табл. 10.

Уже к 1962 г. в результате систематической застройки территории города на ней образовался водоносный горизонт, имеющий сплошное распространение. В дальнейшем положение уровня воды постепенно в зависимости от рельефа местности и глубины залегания водоупора стабилизировалось, т. е. наступило динамическое равновесие между приходной и расходной частью водного баланса в нарушенных застройкой условиях.

Таблица 10

Глубина залегания уровня грунтовых вод на территории города

Год наблюдений	№ квартала	Интервал глубин уровня грунтовых вод, м
1959	75, 76, 78	3—6,8
1957	300, 302, 340	4—7
1959	273, 285, 287	3—7
1962	79, 219, 220, 221, 248	4—7,5
1963	52, 45, 67, 95	3—8,5

При сравнении положения уровня грунтовых вод в 1961 г. и 1969 г. (см. рис. 34) видно, что на застроенной территории города уровень воды за это время поднялся местами выше 3 м, в то время как на застроенной территории — не более 20—30 см. Это свидетельствует о том, что при формировании грунтовых вод даже на таком сравнительно небольшом незастроенном участке природные факторы (нормальный поверхностный сток, большое испарение и транспирация) проявляют себя в значительно большей степени, чем на застроенной территории, препятствуя подъему уровня воды до более высоких отметок.

В пределах территории города на общем фоне кровли относительного водоупора (бурых суглинков) местами выделяются купола. Средняя глубина залегания водоупора 3—4,5 м (кварталы № 220, 306, 307, 273). По мнению автора, подобные купола играют двоякую роль. С одной стороны, при подъеме уровня грунтовых вод выше кровли водоупора они в определенной степени ухудшают условия подземного стока, что способствует более интенсивному подъему уровня воды. С другой стороны, в результате ухудшения застройкой нормального поверхностного стока создают более благоприятные условия для сквозного промачивания грунтов в зоне аэрации, а следовательно, и усиленного питания грунтовых вод [12].

Так, например, на промплощадке завода железобетонных конструкций, находящейся на территории квартала № 200 и тяготеющей к куполу относительного водоупора бурых суглинков, вершина которого достигает 3,4 м от поверхности земли, подъем уровня грун-

товых вод (до глубины 2 м) произошел вскоре после строительства завода. В результате этого фундаменты и подвальные помещения многих зданий завода подвергнуты постоянному подтоплению.

На территории кварталов № 291, 277, 306, 307, где также расположен купол относительного водоупора, вершина которого залегает на глубине 3 м, еще до ее застройки уровень грунтовых вод поднялся до глубины 1,5—2,5 м. В то же время в других местах, где относительный водоупор залегает на глубине 4,5—5 м (кварталы № 285, 287, 300, 302), уровень воды в течение года приблизился к поверхности в среднем до 3,5 м.

Анализ данных наблюдений за режимом уровня грунтовых вод и рельефа местности показывает, что в условиях застроенной территории города наименьшая глубина залегания уровня воды от поверхности (1,4—1,6 м в весенний период) наблюдается на почти бессточных участках, расположенных на самых высоких отметках водораздела, где имеются неблагоприятные условия для поверхностного и подземного стоков, а на склонах она увеличивается до 3,0—3.5 м.

В ноябре 1969 г. поверхность грунтовых вод на территории города имела вид сложного по очертанию купола (см. рис. 33). Максимальное поднятие наблюдалось в районе квартала № 248. В этот период уклоны грунтового потока были направлены с севера на юго-восток, юг и юго-запад. В апреле — мае 1970 г. минимальная глубина уровня грунтовых вод (1,44 м) наблюдалась в северной части города, а максимальная (4,86 м) — на незастроенной его территории.

В большинстве случаев суглинки, содержащие воду, обладают низкими фильтрационными свойствами и малой водоотдачей. Коэффициент фильтрации их не превышает 1 м/сут.

СЕВЕРО-ЗАПАД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ СССР

Промплощадка № 1

Физико-географические условия. Промплощадка № 1 расположена в Заполярье на склоне горы. Абсолютные отметки ее поверхности колеблются от 210 до 445 м.

В период проведения изысканий территория промплощадки № 1 была залесена, а в настоящее время лес вырублен, и на ее поверхности образованы террасы, на которых сооружены объекты горнорудного предприятия (рис. 35).

Вблизи промплощадки № 1 протекает река шириной 15—20 м и глубиной до 2 м и расположено мелководное озеро. В половодье подъем воды в них не превышает 0,6 м.

Район характеризуется умеренно континентальным климатом с продолжительной зимой и коротким прохладным летом. Среднегодовая температура воздуха равна 0° С. Абсолютный минимум температуры равен — 41,6° С, а максимум +29,5° С. За год в среднем выпадает 375 мм осадков, наибольшее их количество (50—60 мм за месяц) приходится на летние месяцы, наименьшее (14 мм) — на февраль. Глубина промерзания грунтов достигает 2,5 м.

Геологические и гидрогеологические условия. На территории промплощадки № 1 повсеместно залегают четвертичные образования, подстилаемые коренными породами палеозойской и архейской групп. Четвертичные образования представлены песками кварцево-полевошпатовыми с гравием и галькой, валунно-галечниковыми и гравийно-галечниковыми грунтами с прослоями и линзами песка (рис. 36).

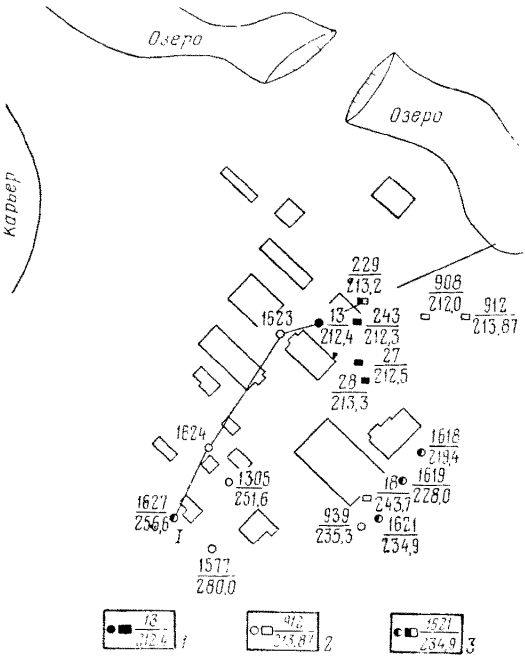


Рис. 35. План промплощадки № 1.
1—наблюдательные скважины и шурфы (числитель—номер скважины или шурфа, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод в 1952 г., м); *2* — то же, в 1968 г.; *3* — то же, в 1971 г.

Коренные кристаллические породы в верхней части разбиты трещинами на обломки, щебень, дресву, местами они разрушены до плотной песчаной породы. Мощность разрушенной и выветрелой зоны изменяется от 10 до 45 м.

По литологическим разностям водосодержащих пород на территории промплощадки № 1 выделяются водоносные горизонты четвертичных отложений и кристаллических пород.

Водоносный горизонт четвертичных отложений имеет локальное распространение. Основными водосодержащими породами являются пески различного состава и гравийно-галечниковые отложения. Водообильность четвертичных отложений зависит от их литологического состава, резко изменяющегося как в площадном распространении, так и по вертикали. По данным опытных откачек коэффициент фильтрации валунно-галечниковых и песчаных отложений изменяется от 25 до 220 м/сут. В прибрежной части озера удельные дебиты по скважинам колеблются от 5 до 20 л/с. Глубина залегания уровня грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта колеблется от 0,4 до 7,0 м. Питание грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод, а также утечек воды из подземных водонесущих коммуникаций и канализации, протяженность которых на промплощадке № 1 достигает 13,2 км.

Движение грунтовых вод направлено к реке и озеру. Большой уклон поверхности в их сторону обусловливает быстрый отток атмосферных и талых вод. На некоторых участках промплощадки № 1

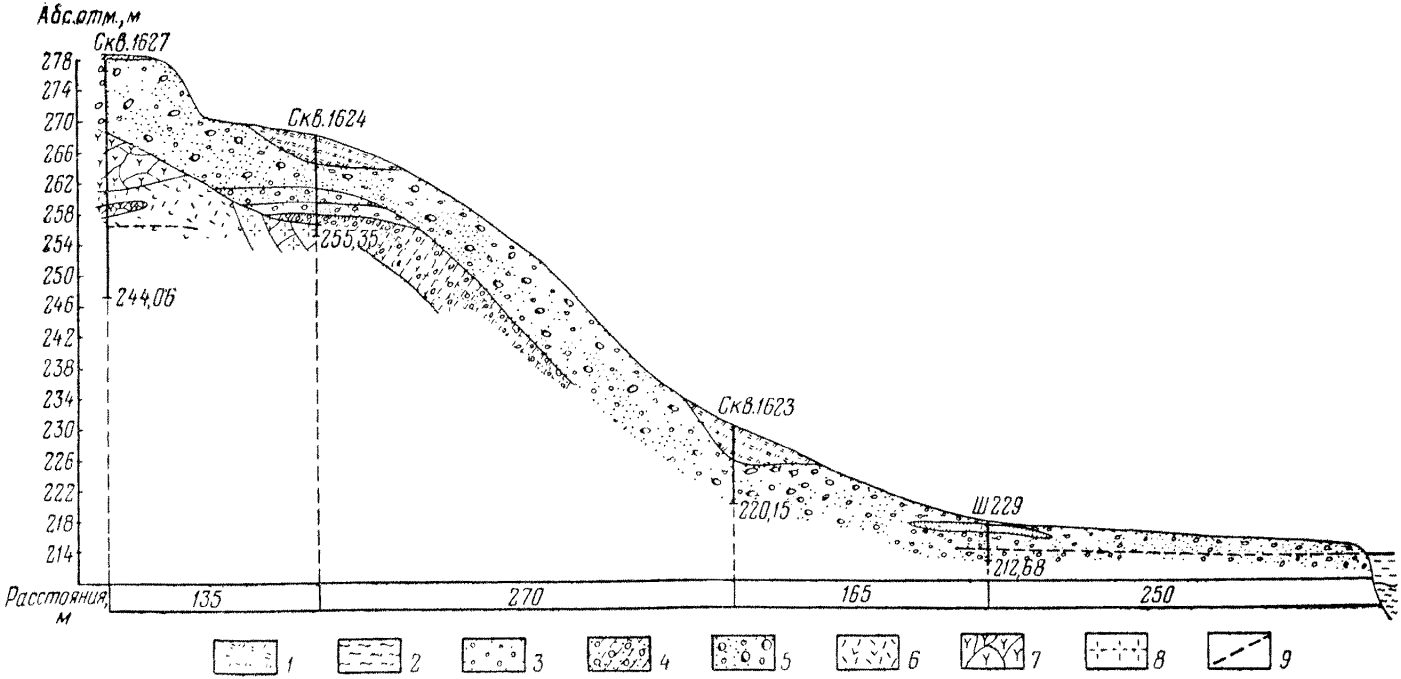


Рис. 36. Гидрогеологический разрез промплощадки № 1 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — ил коричневый; *3* — песок желто-серый; *4* — гравийно-галечниковые отложения с песчаным заполнителем; *5* — валунно-гравийно-галечниковые отложения; *6* — кора выветривания слюдитов и слюдяно-пироксеновых пород; *7* — фениты трещиноватые; *8* — ийолиты трещиноватые; *9* — уровень грунтовых вод на 1971 г.

атмосферные осадки в летнее и осеннее время проникают в песчаные отложения и задерживаются на более плотных слоях, образуя локальные скопления воды типа верховодки.

В выветрелых и трещиноватых кристаллических породах циркулируют безнапорные воды трещинного типа. Распространен этот горизонт повсеместно. Глубина залегания уровня грунтовых вод изменяется от 5—8 до 20—29 м. Мощность водосодержащих кристаллических пород определяется распространением их трещиноватости на глубину.

Оба водоносных горизонта имеют тесную гидравлическую связь, что подтверждается снижением уровня грунтовых вод в скважинах на четвертичный водоносный горизонт при откачке воды из скважин на кристаллический водоносный горизонт.

На промплощадке № 1 выделяются два типа режима грунтовых вод: прибрежный и водораздельный. Сезонная амплитуда колебания их уровня на прибрежном участке 0,5—1,0 м, а годовая не превышает 0,2—0,3 м. На водораздельном участке сезонная амплитуда достигает 2,0—3,5, а годовая — 0,3—0,5 м. Наиболее низкое положение уровня — весной, наиболее высокое — летом.

Во время натурного обследования промплощадки № 1 в 1974 г. было установлено, что ливнестоки имеются только у корпуса обогащения и корпуса крупного дробления. В некоторых местах они заилены или пересыпаны мусором, что затрудняет сток атмосферных вод и способствует проникновению их в грунт.

После сооружения здания пульпонасосной грунтовые воды поступают в ее подвальное помещение, скапливающаяся здесь вода периодически откачивается насосом. В весеннее время приток воды к подвальному помещению увеличивается почти в два раза. На стенах корпуса крупного дробления есть каверны, покрытые белым соляным налетом. С тыльной стороны корпуса находится слесарная мастерская, где на площадки 1 м^2 у пола во время таяния снега сочится вода. В подвальном помещении корпуса сушки на глубине 3,5—4,0 м из стены в виде капель течет вода. Вместе с гидросливом она поступает в зумпфы и откачивается насосом.

Промплощадка № 2

Физико-географические условия. Промплощадка № 2 находится в Заполярье. Абсолютные отметки поверхности промплощадки № 2 изменяются от 165 до 183 м. С юга и востока ее окаймляют на расстоянии 1,5—3,0 км четыре озера. Расположение на ней объектов показано на рис. 37. Зима здесь продолжительная, а лето короткое Среднегодовая температура воздуха равна 0° С, среднемесячная максимальная температура +13,9° С отмечается в июле, а минимальная —13,5° С—в феврале. Среднегодовое количество осадков 350—400 мм. Снежный покров держится 210—220 дней в году.

Геологические и гидрогеологические условия. Геологический разрез промплощадки № 2 следующий (рис. 38). В верхней его части имеются торфяно-болотные отложения, представленные торфом, тон-

козернистыми илистыми и пылеватыми супесями и песками. Далее следуют разнозернистые и крупнозернистые пески с галькой, гравием и валунами, сцементированные окислами железа. Валунные супеси (основная морена) залегают непосредственно на коренных породах. Распределение валунно-галечникового материала в толще супесей

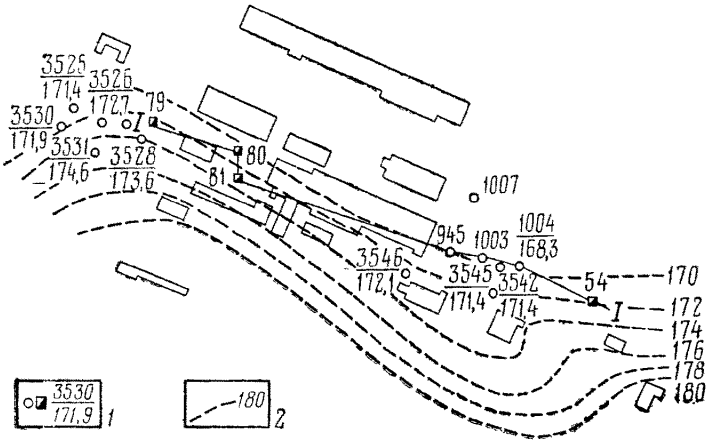


Рис. 37. План промплощадки № 2 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины или шурфы (числитель — номер скважины или шурфа, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на май 1973 г.

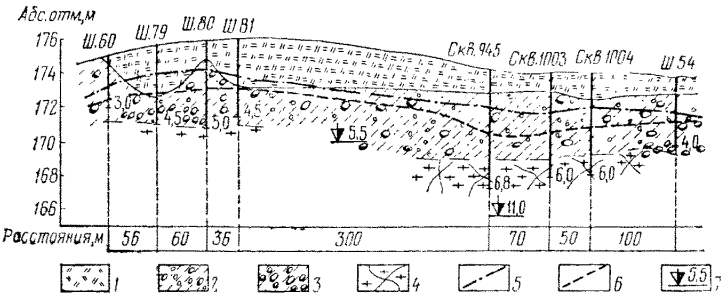


Рис. 38. Гидрогеологический разрез промплощадки № 2 по линии I—I.
1 — насыпной грунт; *2* — супесь плотная с обломочным материалом; *3* — валуны с супесчаным заполнителем; *4* — гранито-гнейсы трещиноватые; *5* — уровень грунтовых вод на июль 1966 г.; *6* — то же, на май 1973 г.; *7* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

неравномерное. Коренные породы (гранито-гнейсы и биотитовые гнейсы) залегают на глубине 3,5—10 м и более. В кровле они сильно выветрелые и разбиты трещинами выветривания в самых различных направлениях.

На территории промплощадки № 2 распространены два водоносных горизонта, приуроченных к четвертичным образованиям и трещиноватым кристаллическим породам.

В естественных условиях (1949 г.) уровень грунтовых вод четвертичного водоносного горизонта на всей промплощадке № 2 залегал неглубоко, независимо от рельефа местности. Глубина его залегания составляла 1—4, реже 5—6 м. Главная роль в питании грунтовых вод принадлежит атмосферным осадкам и талым водам. Снежный покров здесь более 1 м, а продолжительность его таяния составляет 30—40 сут.

По мере строительства на промплощадке № 2 горнорудного предприятия и развития его производственной мощности увеличивалось питание грунтовых вод за счет нарушений условий поверхностного стока и неизбежных утечек воды из подземных сетей водоводов и канализации.

Общее направление движения грунтовых вод происходит в сторону наибольшего уклона рельефа — к озерам. Несмотря на близость озерных бассейнов, положение уровня грунтовых вод в течение всего гидрологического года значительно превышает отметки воды в озерах. Наиболее высокое стояние уровня грунтовых вод наблюдается весной, а наиболее низкое — зимой.

В четвертичных образованиях грунтовые воды распространены в ледниковых отложениях, представленных супесчаными и песчаными разностями со значительным содержанием обломочного материала. Почти вся толща моренных супесей относится к группе слабоводоносных пород, обладающих невысокой водопроницаемостью и водоотдачей. По результатам опытных откачек и лабораторных исследований коэффициент фильтрации их изменяется от 0,005 до 0,4 м/сут. Малая водопроницаемость и водоотдача супесей обусловлена значительным (до 30%) содержанием в них пылеватых частиц и глинистых фракций (от 4 до 10%).

Подземные воды в скальных кристаллических породах приурочены к системе трещин выветривания, развитых в верхней зоне этих пород и почти затухающих на глубине 30—40 м, иногда они прослеживаются до глубины 125 м.

Водоносный горизонт в основном безнапорный, но на отдельных участках, где супеси, покрывающие кристаллические породы плотного сложения, имеют до 10% глинистых фракций, он приобретает напорный характер (до 2—3 м).

Коэффициент фильтрации кристаллических пород изменяется от 0,056 до 0,071 м/сут, в верхней наиболее трещиноватой зоне он возрастает до 0,15 м/сут.

Грунтовые воды четвертичных образований и кристаллических пород имеют тесную гидравлическую связь, образуя единый водоносный горизонт. На рис. 37 показано положение уровня грунтовых вод на промплощадке № 2 в мае 1973 г. В этот период глубина залегания их уровня изменялась от 2,3 до 5,5 м, в среднем она равна 3, 3 м. Минимальные глубины приурочены к участкам расположения корпусов дробления.

Результаты натурного обследования института ВИОГЕМ в 1973 г. показали, что на промплощадке № 2 все здания не имеют водосточных труб и вода в период дождей стекает по стенам. В связи с этим от-

мостки у ряда зданий нарушены трещинами. Не у всех зданий имеются ливнестоки. Внутри корпуса крупного дробления видны потоки битума — это нарушенная гидроизоляция. В результате почти по всему периметру корпуса на глубине 3 м течет грунтовая вода. Имеет место просачивание воды в подвальные помещения других зданий, которые расположены на участках с высоким положением уровня грунтовых вод.

УРАЛ, СИБИРЬ, КАЗАХСТАН

Промплощадка № 1

Физико-географические условия. Промплощадка № 1 (рис. 39) расположена на склоне северной части Среднего Урала. Местность ее пересеченная: небольшие возвышенности чередуются с понижен-

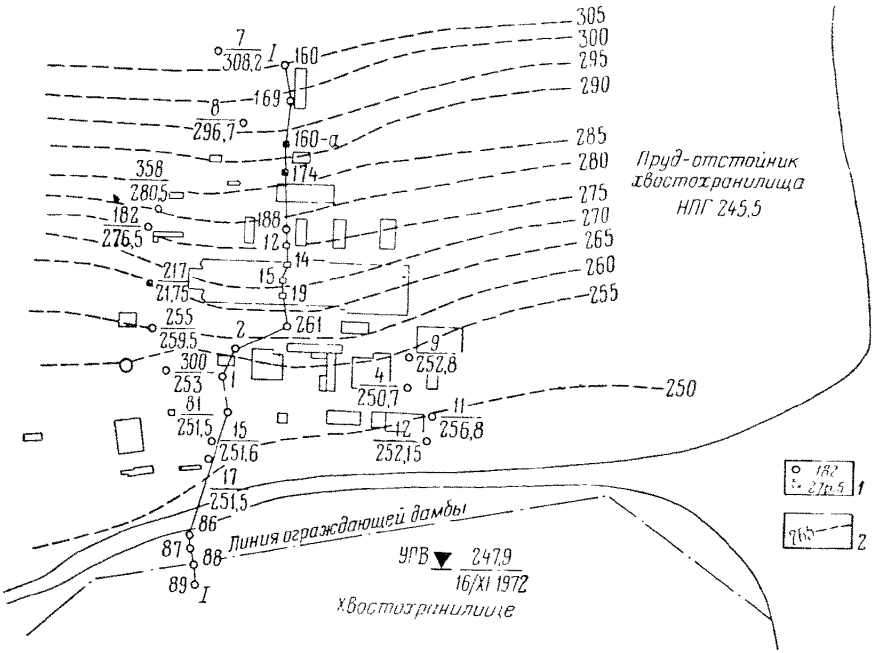


Рис. 39. План промплощадки № 1 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины или шурфы (числитель — номер скважины или шурфа, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на ноябрь 1972 г.

ными участками (впадинами). Местами впадины заболочены. Максимальная абсолютная отметка поверхности промплощадки № 1 составляет 344,18 м, а минимальная — 246,66 м. В районе промплощадки № 1 развита речная сеть. Некоторые реки сильно меандрируют.

Климат района промплощадки № 1 резко континентальный с продолжительной холодной зимой, умеренным коротким летом и с рез_

кой сменой температуры дня и ночи. По данным многолетних наблюдений среднегодовая величина осадков составляет 539 мм, максимальное их количество (72 мм) выпадает в августе, а минимальное (15 мм) — в феврале. Максимальная температура воздуха +36° С приходится на июль, минимальная —52° С — на декабрь. Среднемесячная минимальная температура воздуха (в январе)

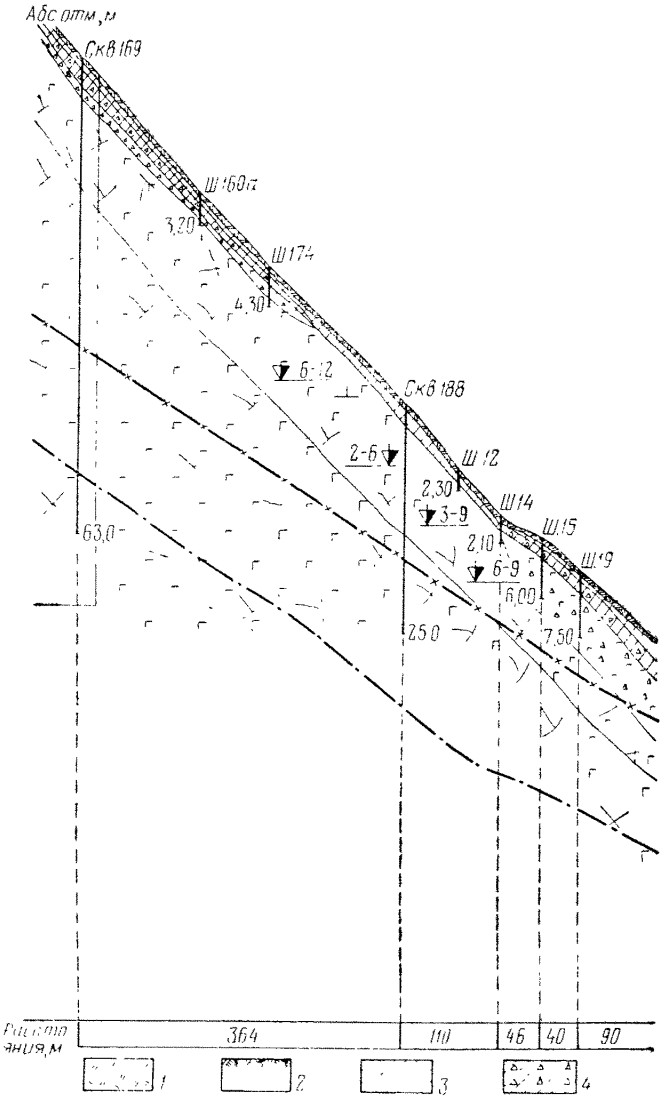


Рис. 40. Гидрогеологический

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок щебня; *6* — элювий амфиболитов и габбро; *7* — трещиноватая порода после застройки территории на ноябрь 1972

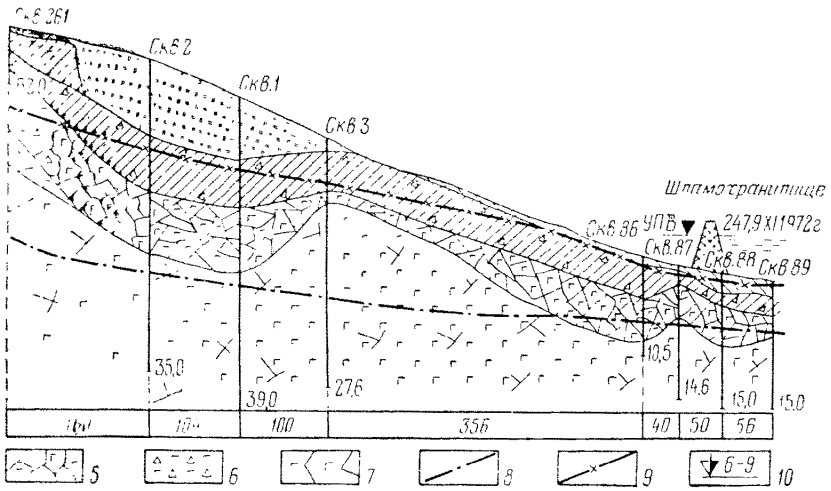
равна —16,6° С, а максимальная (в июле) — +17,3° С. Среднегодовая температура воздуха +0,2° С. Максимальная глубина промерзания почвы 3,2 м.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В геологическом строении промплощадки № 1 (рис. 40) участвуют аллювиальные, делювиальные и элювиальные отложения, представленные галечниками, глинами, суглинками, супесями с примесью грубообломочного материала, щебенистым сапролитом и щебенистым грунтом.

Щебенистый сапролит представляет продукт глубокого химического выветривания амфиболитов. Характеризуется он слабой крепостью, иногда до 20% содержит супеси и суглинка. Дресвяно-щебенистые и щебенистые грунты содержат элювий местных коренных пород. Последние представлены щебенистым материалом с глинистым или дресвянистым заполнителем либо трещиноватыми породами, затронутыми выветриванием до глубины 60 м.

Из подземных вод, распространенных на промплощадке № 1, выделяются верховодка и грунтово-трещинные воды верхней трещиноватой зоны коренных пород.

Верховодка встречается в виде отдельных линз в верхней части возвышенности, где она приурочивается к изолированным участкам трещиноватых пород, доступ воды к которым с поверхности более свободен, чем отток от них. Часто верховодка формируется в суглинистом делювии, развитом на умеренных и пологих склонах возвышенности. К разновидности верховодки относятся и воды каменных россыпей у ее вершины. Верховодка получает питание за счет инфильтрации дождевых и талых вод. Наибольшего развития она достигает



разрез промплощадки № 1 по линии I—I.

делювиальный; *4* —сапролит; *5* — элювиальные отложения с включением дресвы габбро; *8* — бытовой уровень грунтовых вод на 1961 г.; *9* — уровень грунтовых вод г.; *10* — заглубление фундаментов и сооружений, м

в весеннее время, в период бурного таяния снега. Летом в возвышенных местах рельефа верховодка исчезает. Расходуется она на испарение и питание трещинного водоносного горизонта.

Грунтовые воды, приуроченные к трещинам горных пород, не образуют сплошного водоносного горизонта, а распространяются по трещиноватым зонам или по отдельным трещинам на самых различных высотах. Следуя по трещинам коренных пород, эти воды довольно часто на склонах выходят на дневную поверхность, образуя родники или заболоченные участки. Трещинные воды получают питание за счет инфильтрации атмосферных осадков и верховодки. По данным пробных откачек из одиночных скважин коэффициент фильтрации трещиноватых пород изменяется от 0,007 до 1,8 м/сут.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Проведенными изысканиями были установлены благоприятные гидрогеологические условия для строительства на промплощадке № 1 горнорудного предприятия: подземные воды на участках всех сооружений залегали ниже оснований фундаментов. Однако уже строительство первой очереди предприятия в 1957—1963 гг. показало, что гидрогеологическая обстановка на промплощадке № 1 не вполне благоприятная. Первые сведения, связанные с появлением воды в заглубленных сооружениях предприятия, относятся к концу 1969 г. В декабре этого года наличие воды было установлено в стакане и борове трубы аглофабрики, трубы корпуса окомкования, в борове трубы ТЭЦ и в заглубленной части корпуса крупного дробления. Обнаруживался выход воды с дебитом порядка 0,5 л/с в подошве канала дымососов. Сантехнический тоннель в корпусе агломерации обводняется за счет высачивания вод по трещинам в бетоне. Расход высачивающейся воды порядка 2 л/с. Такая же картина наблюдалась в галерее № 9 корпуса агломерации. Здесь расход высачивающейся воды составлял 1,5 л/с. В корпусе окомкования и обжига по всей западной стенке наблюдалось высачивание воды через трещины в бетоне. В подтопленном состоянии находятся вагоноопрокидыватель и склад бентонита.

Проникновение подземных вод также имеет место в подземной части корпуса обогатительной фабрики. Установлено, что уровень подземных вод в районе агломерационной фабрики и у трубы корпуса окомкования с 1957 по 1970 г. поднялся почти на 13 м. Склад руды у корпуса крупного дробления почти круглый год обводнен. Восточнее склада руды из-под насыпи круглогодично функционирует выход воды с расходом порядка 0,5 л/с. Зимой выход образует наледи. В 1971 г. были обнаружены выходы подземных вод на поверхность у склада известняка, пульпонасосной станции № 1, а также у корпуса мелкого и среднего дробления.

Поверхность подземных вод на промплощадке № 1 в целом повторяет земную поверхность (см. рис. 40). У вершины горы, где расположен корпус крупного дробления, установлен водораздел подземных вод. Здесь глубина залегания их уровня составляет 25—35 м, практически она не изменялась с момента строительства корпуса дробления.

Анализ результатов обследований промплощадки № 1 в 1972—1973 гг. показывает, что, несмотря на значительный уклон поверхности и относительные превышения, достигающие почти 100 м, подземные воды на ней залегают в пределах глубин залегания подошв фундаментов и заглубленных частей сооружений. Наиболее неблагоприятные гидрогеологические условия сложились в нижней восточной части промплощадки № 1, где уровень подземных вод поднялся до глубины около 1 м от поверхности.

На всех перечисленных выше подтапливаемых объектах для создания нормальных условий их эксплуатации производится откачка воды центробежными насосами. Последние включаются периодически по мере накопления в зумпфах воды.

Одной из причин подъема уровня подземных вод на промплощадке № 1 являются утечки производственных и хозяйственно-питьевых вод. Так, например, проведенное трестом УралТИСИЗ обследование сантехнических коммуникаций показало наличие утечек воды при гидросмыве на агломерационной фабрике. Просачивающаяся здесь вода в результате неисправности водоотводных лотков скапливается в сантехнических тоннелях и самотеком выходит на поверхность. Общее количество воды, теряющееся при гидросмыве, около 5 л/с. В августе 1971 г. была обнаружена утечка горячей воды у северного пульпосброса. Выход ее наблюдался из ямы размером 4 × 6 м. Скапливающаяся в яме вода вытекала в лоток аварийного пульпосброса. Расход ее ориентировочно составлял 2—3 л/с.

Другой причиной обводнения грунтов оснований зданий и сооружений промплощадки № 1 является подпор подземных вод в долине рядом расположенной с ней реки, где сооружено хвостохранилище. Возможным дополнительным источником пополнения ресурсов подземных вод может быть водохранилище, которое расположено в 1,5—2,5 км к востоку от промплощадки № 1. Уровень воды в нем на 12 м выше, чем в хвостохранилище.

В ноябре 1972 г. максимальная глубина залегания подземных вод на промплощадке № 1 составляла 37 м, минимальная — 1,2 м, а средняя — 12,4 м. Характер колебания уровня подземных вод на ней не одинаков. Большое разнообразие источников обводнения слагающих ее грунтов обусловило в ряде наблюдательных скважин сложную форму кривых колебания уровня подземных вод.

Промплощадка № 2

Физико-географические условия. Промплощадка № 2 расположена в Сибири на правом берегу реки. Абсолютные отметки ее поверхности колеблются от 480 до 380 м с уклоном на юго-запад и юго-восток к долине реки. К северо-востоку от промплощадки № 2 в долине впадающего в реку ручья сооружено хвостохранилище. Строительство промплощадки № 2 начато в 1958 г. Все здания и сооружения на ней размещаются на террасах коренного склона. В пределах промплощадки № 2 углы наклона склона от 2 до 20°. При этом

наибольшая крутизна наблюдается в нижней части склона. Расположение на промплощадке № 2 сооружений показано на рис. 41.

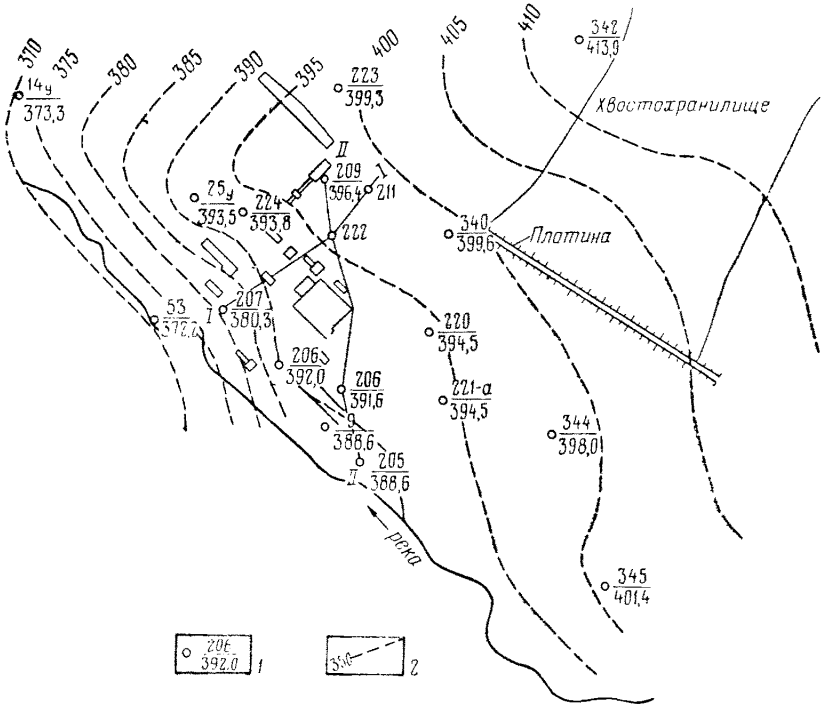


Рис. 41. План промплощадки № 2 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на май 1972 г.

Река имеет глубоко врезанную, слабо террасированную долину с крутыми обрывистыми склонами. Ширина русла реки в межень 2—10 м, а глубина 0,2—0,5 м. Формирование поверхностного стока реки происходит за счет атмосферных осадков и подземных вод. Последние проявляются в виде многочисленных и высокодебитных родников, большая группа которых функционирует в устье ручья

Климат района промплощадки № 2 резко континентальный с большими амплитудами колебания суточных и годовых температур воздуха. Отличается он коротким дождливым летом и суровой продолжительной зимой. Среднегодовая температура воздуха составляет —3,7° С, абсолютный ее минимум —59° С (январь), абсолютный максимум +36° С (июль). Устойчивый снеговой покров образуется в середине — конце октября и держится до половины мая.

Количество выпадающих за год атмосферных осадок колеблется от 218 до 581 мм, составляя в среднем 370 мм. Летние осадки превышают 70% и выпадают преимущественно в июле и августе. Годовая сумма испарения с поверхности суши составляет в среднем 200 мм.

На территории района промплощадки № 2 развита многолетняя

мерзлота, которая имеет островной характер и приурочивается к северным склонам возвышенностей.

Геологические и природные гидрогеологические условия. В пределах промплощадки № 2 повсюду развиты четвертичные образования, представленные суглинками и крупнообломочными грунтами (рис. 42). Под ними залегают коренные породы палеозоя устькут-

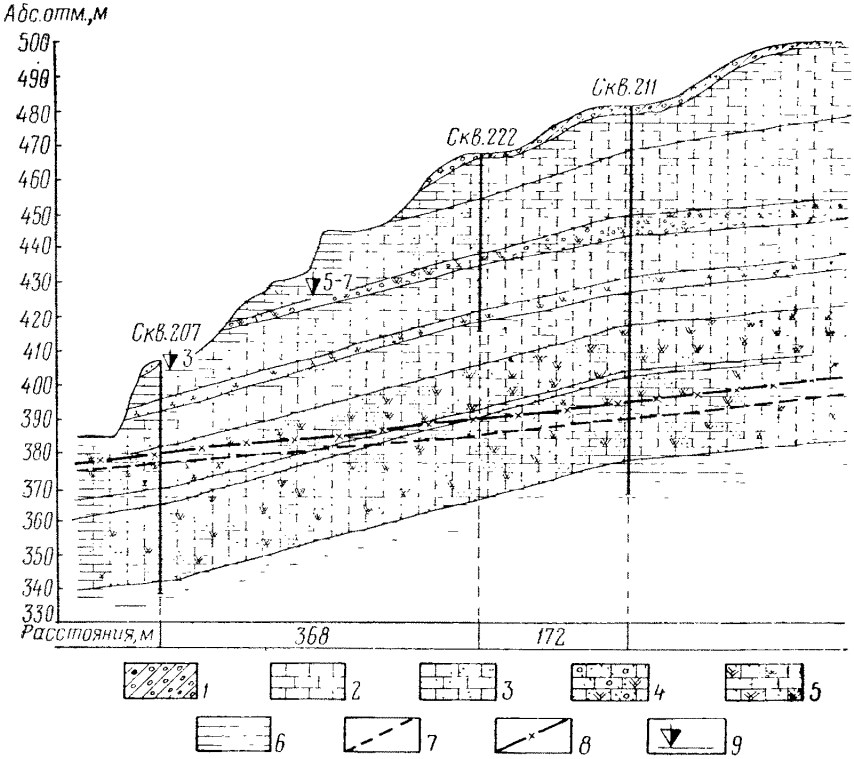


Рис. 42. Гидрогеологический разрез промплощадки № 2 по линии I—I.

1 — суглинисто-обломочный материал; *2* — известняки тонкозернистые; *3* — песчаники мелко- и тонкозернистые; *4* — песчаники оолитовые; *5* — песчаники известковистые; *6* — аргиллиты; *7* — уровень грунтовых вод после застройки территории на 1967 г.; *8* — то же, на май 1972 г.; *9* — заглубление фундаментов зданий и сооружений, м

ской свиты, сложенные известковистыми песчаниками, доломитизированными известняками, реже глинами и мергелями. Ниже следуют породы верхоленской свиты, представленные красновато-коричневыми трещиноватыми аргиллитами, песчаниками и мергелистыми разностями. Породы устькутской свиты характеризуются трещиноватостью и закарстованностью. Наиболее закарстованными являются известняки в долине ручья, где возведено хвостохранилище.

На территории промплощадки № 2 наиболее распространены пластово-трещинные воды, приуроченные к устькутской и верхоленской свитам. Водоупором для них служат преимущественно глинистые породы верхоленской свиты. Породы в долине реки трещино-

ваты, в связи с чем обладают высокой водопроницаемостью. Менее распространены подземные воды, приуроченные к породам верхоленской свиты.

Подземные воды заключены в толще известковистых песчаников, доломитизированных и песчанистых известняков. Значительная их трещиноватость, кавернозность, закарстованность и малая мощность четвертичных отложений обусловливают хорошее питание водоносного горизонта за счет атмосферных осадков и поверхностных вод. Водопроницаемость пород весьма различна как в плане, так и в разрезе. Коэффициенты фильтрации колеблются от 0,2 до 70 м/сут, достигая в отдельных случаях 270 м/сут.

В речных долинах и у подножья склонов происходит разгрузка устькутского водоносного горизонта в виде большого количества источников с расходом от 0,45 до 174 л/с. Мощность водосодержащих пород данного водоносного горизонта составляет в среднем 100—150 м.

С породами пермо-триаса связаны трещинные воды. Обводненность и проницаемость этих пород зависят от степени трещиноватости. Коэффициент фильтрации их незначительный и изменяется от 0,02 до 0,6 м/сут.

Поровые воды приурочены к четвертичным образованиям, представленным галечниками с супесчаным и суглинистым заполнителем. Отсутствие четко выраженного водоупора в основании аллювиальных отложений обусловливает гидравлическую связь подземных вод коренных пород и четвертичных образований.

Режим подземных вод в основном зависит от климатических факторов. В период зимней межени (с октября до апреля), когда питание подземных вод за счет атмосферных осадков минимальное, их уровни стабилизируются. С началом снеготаяния (середины апреля) наблюдается плавный подъем уровней подземных вод. Наибольшая скорость подъема уровня воды отмечается в мае и часто носит скачкообразный характер (рис. 43). После достижения максимальных паводковых уровней начинается медленный спад. Кривые спада более пологие, чем кривые подъема. Большое влияние на режим подземных вод оказывают поверхностные водотоки, которые являются как источниками питания, так и областью разгрузки.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. В процессе отработки карьера, заполнения хвостохранилища и в результате эксплуатации зданий и сооружений на промплощадке № 2 произошли существенные изменения гидрогеологических условий. Так, река, являющаяся основным базисом дренажа в природных условиях, стала служить в пределах развития депрессионной воронки карьера областью питания подземных вод.

Существенную роль в изменении режима подземных вод на промплощадке № 2 сыграло устройство в долине ручья хвостохранилища. Наряду со значительной трещиноватостью пород наличие карстовых воронок и слабое развитие четвертичного покрова в районе хвостохранилища обусловливают фильтрацию воды из него в породы устькутской свиты, вызывая дополнительное обводнение пород и повышение уровня подземных вод.

Эксплуатация хвостохранилища начата в январе 1965 г., и уже к началу 1966 г. абсолютная отметка уровня воды в нем повысилась с 426,96 до 436,92 м. До создания хвостохранилища в районе промплощадки № 2 уровень водоносного горизонта залегал на отметках

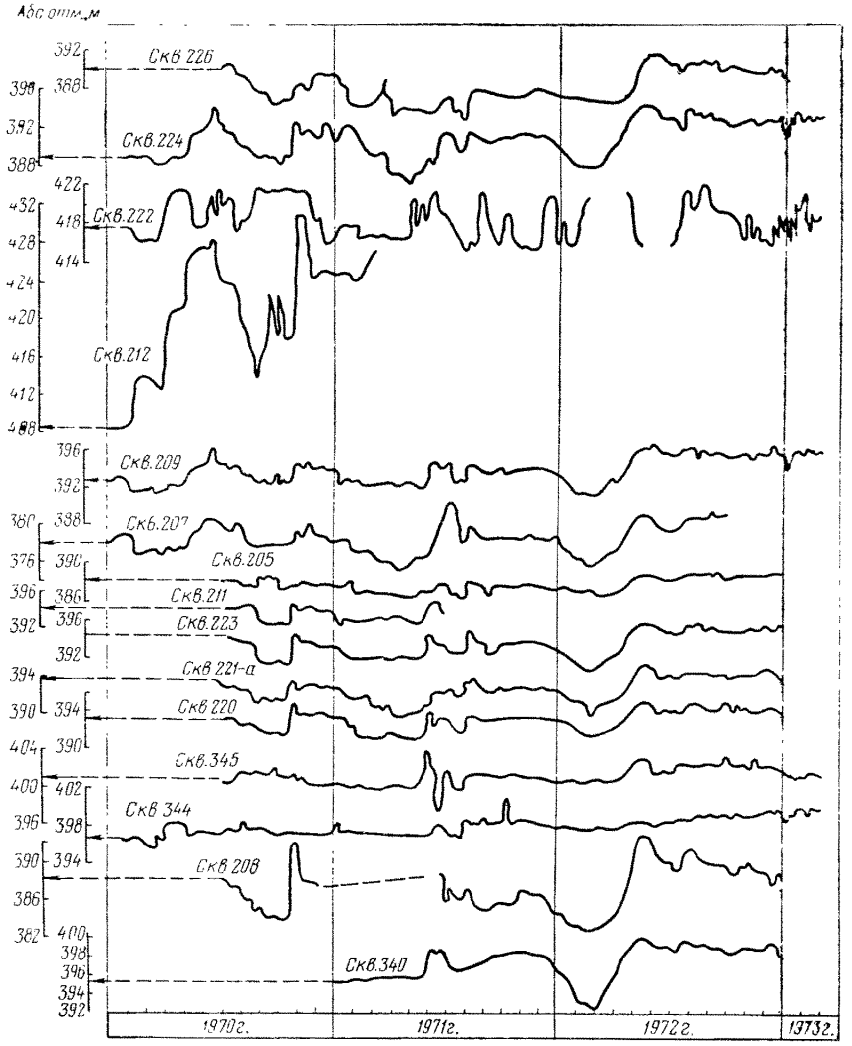


Рис. 43. График колебания уровней грунтовых вод на промплощадке № 2

373—375 м. Наблюдения за режимом подземных вод на исследуемом участке начаты значительно позже заполнения хвостохранилища (во второй половине 1966 г.). К моменту начала наблюдений уровень подземных вод на промплощадке № 2 повысился до отметок 382,6—385,6 м, т. е. на 9—10 м против первоначального.

С 1966 по 1969 г. режим подземных вод на промплощадке № 2 характеризовался плавным повышением уровней (на 4—5 м) до отметок 386,2—390,3 м. В результате фундаменты ряда сооружений в той или иной степени оказались подверженными подтоплению.

Начиная с 1970 г. на территории промплощадки № 2 наблюдается относительная стабилизация уровней подземных вод. Исключением являются периоды усиления инфильтрации воды через карстовые полости в борта хвостохранилища. В это время происходит скачкообразное повышение уровня подземных вод до 7—15 м с последующим более плавным снижением. Так, в течение 1970 г. инфильтрация через карст наблюдалась в феврале, марте и июне. При действии инфильтрации воды из карстопроявлений в районе хвостохранилища в конце июня 1970 г. уровни подземных вод на промплощадке № 2 повысились от 1 до 13 м и удерживались в таком положении 3—15 сут. После ликвидации очагов фильтрации в одних местах промплощадки № 2 они снизились, в других оставались на более высоких отметках по сравнению с первоначальными (скв. 212, 224 и др.). Это, очевидно, свидетельствует о том, что после «залечивания» карстовых воронок фильтрация воды из них остается значительной.

Исключение составляет скв. 222, которая имеет обособленный режим и значительные (до 5 м) амплитуды колебания уровня воды. Водоносный горизонт, вскрываемый этой скважиной, приурочен к средней известковистой толще устькутской свиты. Скважина 222 часто в периоды карстовых прорывов реагирует с некоторым опозданием, причем уровень воды в ней при этом понижается. Очевидно, это связано с общим понижением уровня воды в хвостохранилище, обусловленным прорывом карстовой фильтрации.

Как видно из перечисленных выше факторов, инфильтрация воды из хвостохранилища до середины 1969 г. непосредственно обусловливала режим подземных вод на территории промплощадки № 2.

С августа 1969 г. резко возрастает производительность системы осушения карьера предприятия за счет ввода в эксплуатацию водопонижающих скважин. С включением в работу этих скважин начался дренаж устькутского водоносного горизонта, вызвавший снижение дебита большинства скважин, дренированных верхоленский водоносный горизонт.

Начиная с этого момента гидрогеологические условия промплощадки № 2 характеризуются следующим образом: хвостохранилище является областью питания устькутского водоносного горизонта, территория промплощадки № 2 — областью транзита подземных вод, река и карьерный водооотлив — областью их разгрузки.

В подтверждение наличия такой тесной гидравлической связи свидетельствуют результаты наблюдений за количеством взвеси в подземных водах, поверхностном водотоке и хвостохранилище. Возрастание мутности воды в реке через некоторое время влечет за собой увеличение взвесей в откачиваемых водах из скважин дренажной системы карьера. Источники, выходящие в нижней части промпло-

щадки № 2, во время карстовых прорывов меняют мутность воды в зависимости от места сброса хвостов. Если сброс происходит непосредственно в карстовые полости, то вода в источниках более мутная.

В мае 1972 г. глубина залегания уровня подземных вод на промплощадке № 2 изменялась от 7,3 до 92,3 м. Максимальная глубина уровня воды отмечалась в районе склада руды, а минимальная — на участке склада сухого концентрата.

Промплощадка № 3

Физико-географические условия. Промплощадка № 3 (рис. 44) находится в Казахстане на склоне долины реки. Район представляет собой расчлененную равнину с общим понижением поверхности

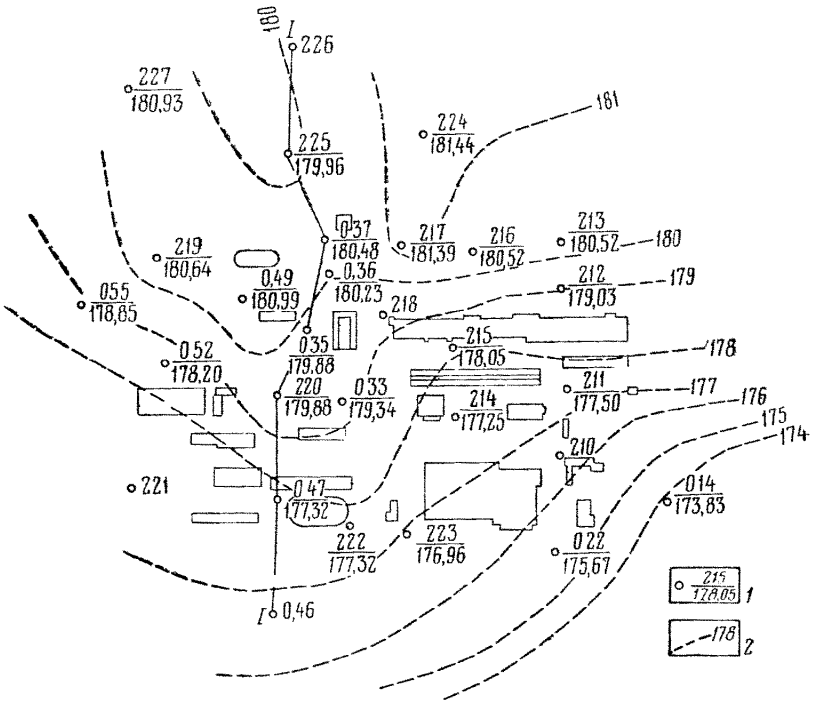


Рис. 44. План промплощадки № 3 с нанесением гидроизогипс грунтовых вод.
1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня грунтовых вод, м); *2* — гидроизогипсы грунтовых вод на сентябрь 1966 г.

к юго-востоку, абсолютные отметки которой изменяются от 200 м на северо-западе до 170 м на юго-востоке.

Для района промплощадки № 3 характерно слабое развитие гидрографической сети. Вблизи ее протекает только одна река, ширина русла которой не превышает 100 м. Режим реки непостоянный

и зависит от количества атмосферных осадков, выпадающих в течение года. Кроме того, в настоящее время он зарегулирован двумя плотинами, являющимися основными источниками питьевого и хозяйственного водоснабжения населения и промышленных предприятий. В районе промплощадки № 3 имеются бессточные озера и болота, представляющие собой неглубокие (0,5—1,5 м) замкнутые понижения, которые временно заполняются весенними водами.

Климат района резко континентальный с коротким сухим летом и суровой продолжительной зимой. Характерны резкие колебания

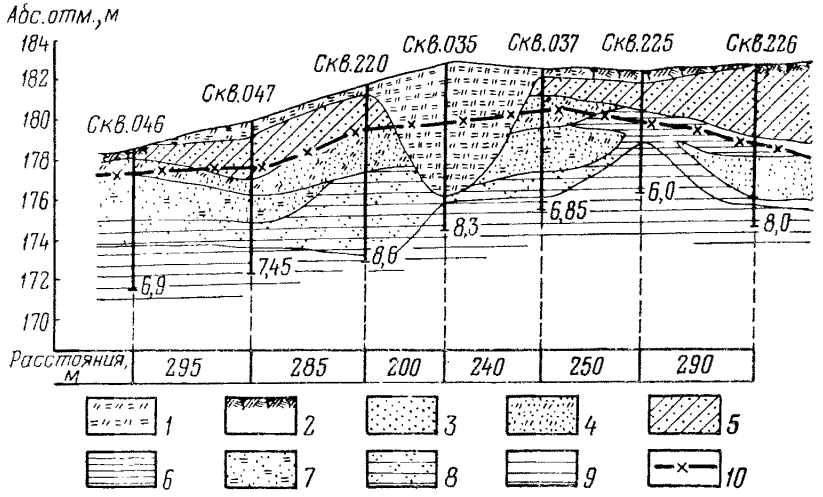


Рис. 45. Гидрогеологический разрез промплощадки № 3 по линии I—I.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — пески желтовато-бурые; *4* — супеси желтовато-бурые; *5* — суглинки желтовато-бурые; *6* — глины зеленовато-бурые; *7* — пески серые; *8* — глины оливково-зеленые; *9* — глины зеленовато-серые; *10* — уровень грунтовых вод после застройки территории на октябрь 1966 г.

температуры, небольшая величина осадков, сухость воздуха и частые сильные ветры.

Среднегодовое количество атмосферных осадков (за 1960—1971 гг.) составляет 302,1 мм/год, из них 107,2 мм выпадает за летний период. Годовая величина испарения с водной поверхности равна 737 мм, а с почвы — 210—270 мм, при этом период интенсивного испарения совпадает со временем выпадения максимальных осадков. Таким образом, летние осадки почти не играют роли в питании грунтовых вод. Значительная часть снежного покрова подвергается сухому испарению за счет сильных ветров, скорость которых иногда превышает 20 м/с. Глубина промерзания почвы достигает 2 м.

Геологические и природные гидрогеологические условия. Геологический разрез промплощадки № 3 слагают четвертичные суглинки буровато-желтые, неравномерно ожелезненные, участками известковистые, с линзами и прослоями песка (рис. 45). На некоторых участках промплощадки встречаются буровато-желтые известковистые супеси и мелкие кварцевые глинистые пески.

Неогеновые отложения на промплощадке № 2 распространены не повсюду и представлены известковистыми ожелезненными глинами с прослоями крупных песков и суглинков. Палеогеновые отложения представлены олигоценовыми зеленовато-серыми песками с гравием и галькой и оливково-зелеными сланцеватыми глинами чеганской свиты, в значительной степени трещиноватыми и ожелезненными.

В пределах промплощадки № 3 в четвертичных, палеогеновых и неогеновых отложениях выделяется один водоносный горизонт, приуроченный к супесям, суглинкам и пескам. Его водоупором служат глины чеганской свиты. Зеркало воды залегает на различной глубине — от 3 до 7 м в зависимости от положения водоупора. Мощность водосодержащих пород изменяется от 1,5 до 5 м, а коэффициент фильтрации — от 0,3 до 8,0 м/сут. Водоносный горизонт обладает свободной поверхностью. Питание грунтовых вод осуществляется главным образом атмосферными осадками и талыми водами. Дебиты воды в колодцах колеблются от 0,1 до 9,6 м³/сут. Подъем уровня грунтовых вод отмечается преимущественно в весеннее время, а спад — в зимнее и летнее.

Изменение гидрогеологических условий и режима грунтовых вод. Неглубокое залегание водоупора чеганских глин, сложная форма рельефа его кровли, затрудняющая подземный сток грунтовых вод, а также резкая изменчивость литологического состава пород как по площади, так и по глубине даже в природных условиях способствуют накоплению воды в грунтах вблизи поверхности.

До строительства промплощадки № 3 уровень грунтовых вод на ее территории залегал на глубине 3—7 м в зависимости от положения водоупора. В период застройки, начатой в 1956 г., в результате нарушения условий естественного поверхностного стока и появления новых источников питания водоносного горизонта (утечки и неорганизованный сброс промышленных вод) на ней стали наблюдаться случаи подъема уровня грунтовых вод. Уже в 1963 г. в опускном колодце корпуса крупного дробления и галереях № 1 и 2 появились воды. Наиболее интенсивное подтопление объектов наблюдалось в 1964—1965 гг.

С 1956 по 1966 г., т. е. за 10 лет, уровень грунтовых вод поднялся на промплощадке № 3 в общей сложности на 1,5—2,0 м. В сентябре 1966 г. глубина залегания уровня грунтовых вод на отдельных ее участках достигала 1,5—2,5 м; абсолютные отметки уровня грунтовых вод колебались в пределах 174—186 м (см. рис. 44), а глубина их залегания составляла 0,65—3,96 м (в среднем 1,85 м).

Низкое стояние уровня грунтовых вод отмечается в осенне-зимние месяцы, а высокое — преимущественно в весенние. Амплитуда колебания уровня воды изменяется от 0,43 до 1,26 м. Более низкое положение уровня воды в осенне-зимний период связано не только с уменьшением количества осадков по сравнению с весенне-летним периодом, но и затрудненным питанием грунтовых вод в результате промерзания грунта. Об этом свидетельствуют резкие подъемы уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах при насту-

лении положительной температуры (вторая половина марта), при благоприятных условиях для инфильтрации талых вод в грунт.

Результаты обследования промплощадки № 3, выполненные институтом ВИОГЕМ в 1972 г., показали, что многие здания и сооружения подверглись постоянному или временному подтоплению. К ним относятся корпус крупного дробления, административно-бытовой корпус, галерея № 2, корпус мокрой магнитной сепарации, склад концентрата, дымовые трубы, склад окатышей и др. Грунтовые воды проникают в подвальные помещения преимущественно через наращивания бетонных стен, а в подземные части галерей — через неплотные соединения чугунных тюбингов.

В результате подтопления промплощадки нанесен большой ущерб предприятию. Так, на складе концентрата деформировались фундаменты, а у главного корпуса фабрики окомкования произошло проседание грунта, для чего потребовалось неоднократно покрывать площадку корпуса бетоном.

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ И ПРИЧИН ОБВОДНЕНИЯ ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Рассмотренные выше промплощадки находятся в различных географических зонах СССР, а именно: в европейской части (в центре, на юге и северо-западе), на Урале, в Сибири и Казахстане. Расположены они на водоразделах рек и балок, террасах речных долин, а также на крутых и пологих склонах берегов рек и гор.

Преобладающими грунтами на промплощадках являются суглинки, подстилаемые водоупорными глинами. Глубина залегания водоупора колеблется от 1 до 20 м. В меньшей степени они сложены песками, валунно-галечниковыми отложениями и скальными трещиноватыми породами (амфиболитами, габбро, известняками и т. д.).

В естественных условиях грунтовые воды на промплощадках отсутствовали или залегали на глубине 2—16 м и более. Подъем уровня грунтовых вод происходит как в период застройки территории в результате длительного раскрытия котлованов, недоуплотнения обратной засыпки грунтов в пазухах котлованов и траншей, затяжки выполнения планировочных работ, так и в процессе эксплуатации — вследствие ухудшения условий поверхностного стока, сокращения площади испарения зданиями и другими покрытиями, неудовлетворительной работы ливнестоков, несвоевременного удаления больших масс снега, скапливающегося в микрорайонах.

Изучение материалов водного баланса горнорудных предприятий свидетельствует о том, что они являются одним из наиболее крупных водопотребителей промышленности. Расход воды ряда предприятий достигает 5,3—7,3 тыс. м³/сут на 1 га площади (табл. 11).

В связи с большим расходом воды предприятиями на их промплощадках широко развита подземная система водоводов и канализации. Последние содержат в себе потенциальную возможность увеличения обводняемости грунта и опасность повышения грунтовых вод. Общая длина водоводов и канализации на некоторых пром-

Таблица 11

Некоторые сведения о строительстве и эксплуатации промплощадок

№ промплощадки	Общая площадь промплощадки, га	Площадь, занятая зданиями и другими покрытиями, га	Величина потребления предприятием воды на 1 га его общей площади, тыс. м³/сут	Длина водоводов, км	Длина канализации, км	Коэффициент использования оборотной воды
Центр и юг европейской части СССР						
1	225	33,0	5,3	64,0	34,0	0,97
2	200	37,0	4,9	63,1	47,0	0,97
3	160	28,6	6,8	56,3	13,9	0,82
4	105	16,5	6,3	52,0	22,5	0,98
5	125	17,6	7,3	62,3	31,0	0,96
6	78	15,4	6,7	32,2	20,0	0,84
7	32	2,2	3,0	14,9	1,7	0,93
8	50	7,8	2,0	38,1	33,7	0,93
9	42	3,9	1,7	5,4	1,5	0,84
Северо-запад европейской части СССР						
1	64	10,1	1,4	10,9	2,3	0,52
2	96	9,0	2,6	27,2	4,9	0,64
Урал, Сибирь, Казахстан						
1	150	24,8	6,0	17,9	15,9	0,91
2	68	7,4	3,1	33,5	6,2	0,23
3	140	28,8	5,5	25,8	9,0	0,91

площадках свыше 100 км, причем более 50% составляют напорные трубопроводы с величиной давления в них $(2—6)\cdot 10^5$Па.

Свидетельством благоприятных условий для образования грунтовых вод на промплощадках является водный баланс их грунтов, приведенный в табл. 12. При расчете баланса средние многолетние величины атмосферных осадков принимали по данным наблюдений метеостанций, расположенных вблизи предприятий. Средние многолетние значения испарения, поверхностного и подземного стоков в районах расположения промплощадок заимствовали в работах [38, 75]. Допустимые величины утечек из водоводов и канализации определяли по СНиП III—30—74 и рассчитывали на 1 м² промплощадки предприятия.

В связи с тем, что современное состояние методики расчета водного баланса не позволяет определять его величины основных элементов с большой точностью, полученные результаты расчета обводнения грунтов промплощадок следует рассматривать как приближенные. Из табл. 11 видно, что одним из основных источников обводнения грунтов промплощадки являются атмосферные осадки и утечки воды, причем в условиях застройки роль осадков повышается за счет ухудшения условий их поверхностного стока. Особенно велико значение осадков в районах расположения промплощадок с избыточным увлажнением. Так, для двух районов европейской части

Таблица 12

Водный баланс грунтов промплощадок

№ промплощадки	Составляющие баланса, мм/год								
	Приходные			Расходные					
				Испарение и транспирация		Сток			
						поверхностный			
	Атмосферные осадки	Утечки воды из подземных коммуникаций	Сумма приходных	норма для района промплощадки	с учетом застройки	норма для района промплощадки	с учетом застройки	подземный	Сумма расходных
Центр и юг европейской части СССР									
1	401,4	152,0	553,4	490	416,5	25	21,2	32	469,7
2	401,4	166,0	567,4	490	401,8	25	20,5	32	454,3
3	401,4	79,5	480,9	490	401,8	25	20,5	32	454,3
4	401,4	216,0	617,4	490	411,6	25	21,0	32	464,6
5	401,4	228,0	629,4	490	451,5	25	21,5	32	505,0
6	438,0	191,0	629,0	486	388,8	25	20,0	32	440,8
7	462,0	162,0	624,0	486	437,4	25	22,5	32	491,9
8	462,0	137,0	599,0	486	442,3	25	22,8	32	497,1
9	462,0	40,0	502,0	486	442,3	25	22,8	32	497,1
10	396,0	—	—	490	451,5	25	21,5	32	505,0
11	592,0	—	—	481	370,4	48	37,0	40	447,4
Северо-запад европейской части СССР									
12	630,0	22,8	652,8	268	225,1	325	273,8	44	542,9
13	640,0	70,5	710,5	258	234,8	334	304	48	586,8
Урал и Сибирь									
14	539,0	77,5	616,5	324	272,2	260	218,4	25	515,6
15	370,0	55,0	425,0	200	178,0	100	89	35	302,0
Казахстан									
16	302,1	28,5	587,1	240	189,6	17	13,4	7	210,0
17	345,3	58,6	403,8	240	158,4	17	11,4	7	176,8

СССР — Украины (зоны с недостаточным увлажнением) и Заполярья (зоны с избыточным увлажнением) — количество выпадающих в год атмосферных осадков изменяется почти в 1,6 раза (от 401,4 до 640 мм). Но не только количество атмосферных осадков определяет то или иное влияние на обводненность грунтов промплощадок. Влажность воздуха и его температура значительно влияют на распределение атмосферных осадков. Например, для районов промплощадок предприятий Украины количество атмосферных осадков, достигающих почти половины общегодовых, приходится на летние месяцы. Однако осадки в большей своей части идут на испарение, лишь небольшой их процент инфильтруется в грунт.

Увеличение обводнения грунтов на промплощадках связано также с инфильтрацией скапливающихся вод на складах концентрата марганцевых и железных руд. Вблизи промплощадки № 10 образуются прогибы дневной поверхности в результате снятия напоров в нижележащих водоносных горизонтах, являющиеся очагами накопления инфильтрующейся в грунт воды.

Существенным фактором, обусловливающим обводнение лёссовидных суглинков, является наличие на застраиваемых территориях положительных форм рельефа кровли водоупора в виде куполов, которые барражируют грунтовые воды и тем самым ускоряют подъем их уровня. При формировании грунтовых вод на застраиваемой территории барражирующее влияние на подземный сток воды оказывает также расположение длинной стороны сооружения к гидроизогипсам (параллельное или с небольшим углом) (табл. 13).

Таблица 13

Зависимость числа сооружений от положения их длинных сторон по отношению к гидроизогипсам

№ промплощадки	Число сооружений при угле				
	0°	5—25°	25—50°	50—75°	75—90°
Центр и юг европейской части СССР					
1	—	1	8	1	—
2	—	1	12	—	—
3	1	—	3	5	2
4	—	—	6	4	3
5	3	—	6	—	—
6	7	1	1	—	3
7	—	8	—	1	2
8	3	3	4	—	—
9	2	—	8	—	—
10	1	6	—	—	4
11	1	6	5	—	2
Северо-запад европейской части СССР					
2	—	9	1	—	—
Урал, Сибирь, Казахстан					
1		10	—	—	7
2	—	7	—	—	1
3	1	2	10	2	—

Из табл. 13 видно, что на промплощадках горнорудных предприятий у большинства сооружений угол между длинной их стороной и гидроизогипсами составляет в основном 5—50°.

Анализ состояния промплощадок горнорудных предприятий, проведенный институтом ВИОГЕМ, показывает, что обводнение их грунтов связано также с хвостохранилищами предприятий. В зависимости от типа рельефа хвостохранилища сооружены в балках, оврагах и долинах рек путем перегораживания их плотинами. На пониженных и ровных участках местности они ограждены дамбами обвалования. Расстояние между промплощадкой и хвостохранилищем предприятия колеблется от 0,3 до 7,0 км, в большинстве случаев оно не превышает 1 км.

В зависимости от характера влияния на обводнение грунтов промплощадок все хвостохранилища можно разделить на две группы. К первой группе относятся хвостохранилища, которые в той или иной мере создают подпор грунтовых вод, а ко второй группе—хвостохранилища, являющиеся дополнительными источниками их питания.

Наиболее характерным представителем первой группы является хвостохранилище, расположенное на Урале у подножия склона горы в долине реки и вблизи промплощадки № 1. До сооружения хвостохранилища река являлась базисом дренирования грунтовых вод района промплощадки № 1. За период эксплуатации горнорудного предприятия уровень воды в хвостохранилище поднялся на 21 м. Это обстоятельство неизбежно ухудшило условия подземного стока грунтовых вод и способствовало подъему их уровня.

К числу характерных хвостохранилищ второй группы относится хвостохранилище, ложе и борта которого сложены преимущественно кристаллическими породами (промплощадка № 2 в Сибири). Инфильтрация воды из него обусловлена значительной трещиноватостью пород, наличием в них карстовых воронок и слабым развитием четвертичного покрова.

Анализ режима и баланса грунтовых вод на застраиваемых территориях позволил выделить главные его элементы, под влиянием

Таблица 14

Увеличение обводнения промплощадок в период их эксплуатации

№ промплощадки	Интервал глубин залегания водоупора, м	Глубина уровня грунтовых вод, м				Величина подъема уровня грунтовых вод, м	Среднегодовая скорость подъема уровня грунтовых вод, м/год
		естественных условиях	в период эксплуатации промплощадки				
			минимальная	максимальная	средняя		
Центр и юг европейской части СССР							
1	12,0—15,0	10—14	3,55	12,37	6,68	4,2—5,7	1,99
2	8—11	10,0	1,7	6,2	4,7	6,5—7,0	
3	1—8	Воды отсутствовали	2,0	7,6	4,80	2,5—3.0	0,48
4	2,0—8,0	6—7	1,32	5,90	3,86	4,0—4,5	0,2
5	3,0—8,5	Воды отсутствовали	0,80	15,93	4,47	1,75—3,0	0,54
6	13,0—16,0	2,0—8,0	0,52	6,41	4,42	1,5—2,2	0,52
7	8,0—12,5	Воды отсутствовали	2,3	8,3	4,3	3,4—6,5	1,31
8	17,5—20,0	То же	6,3	13,7	9,2	4,5—8,2	0,98
9	12,0—14,5	10,0—13,0	5,7	11,2	8,3	4,3—7,2	0,65
10	6,0—15,0	12.0—13,0	2,87	7,73	4,40	2,0—4,4	1,42
11	12,5—16,0	5,0—10,0	0,9	3,13	2,01	5,0—7,0	1,95
Северо-запад европейской части СССР							
1	—	—	0,20	22,96	6,20	—	—
2	—	—	2,3	5,55	3,30	1,4—2,0	—
Урал, Сибирь, Казахстан							
1	—	—	1,2	37,0	12,4	10,0—13,0	—
2	30,0—102,8	—	10,9	92,3	49,8	6,0—10,0	—
3	3,5—5,0	2,5—4,5	0,65	3,96	1,85	1,5—2,0	—

которых происходит формирование грунтовых вод. В приходных элементах баланса грунтовых вод ведущая роль принадлежит суммарной инфильтрации. Только потери производственно-хозяйственных вод на промплощадках промышленных предприятий с развитым водным хозяйством достигают более 100 мм в год, а инфильтрация атмосферных осадков в 1,4—1,6 раза превышает инфильтрацию в природных условиях.

Величина подъема уровня грунтовых вод на промплощадках, сложенных лёссовидными суглинками, варьирует от 1,75 до 7,75 м, песчаными грунтами — от 1,5 до 30 м и скальными породами — от 6,0 до 13 м (табл. 14).

На многих промплощадках в результате подъема уровня грунтовых вод значительно сократилась глубина залегания их уровня. Так, на промплощадке № 4 она уменьшилась в среднем до 3,86 м, на промплощадке № 11 — до 2,0 м, а на промплощадке № 3 в Казахстане — до 1,85 м.

Расчеты показывают, что интенсивность обводнения промплощадки, сложенной лёссовидными суглинками, связана с расходом воды построенного на ней предприятия. Для определения зависимости между расходом воды предприятия, отнесенным к единице его площадки (1 га), и величиной многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, а также скоростью подъема их уровня исследованы три промплощадки (№ 1, 8, 9), расположенные на территории Украины, где проводились длительные наблюдения над режимом уровня грунтовых вод.

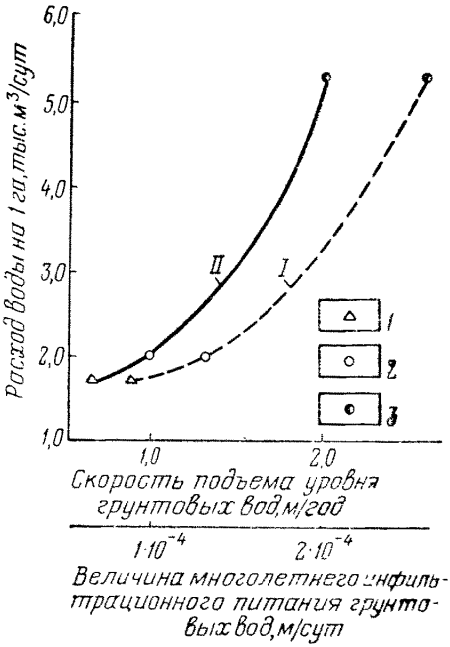


Рис. 46. Зависимость величины многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод (I) и скорости подъема их уровня (II) на промплощадке от расхода воды предприятия на 1 га его площади.

1 — промплощадка № 9; *2* — промплощадка № 8; *3* — промплощадка № 1

Из рис. 46 видно, что с увеличением расхода воды предприятием величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод и скорость подъема и уровня на его промплощадке возрастают по закону, близкому к прямолинейному.

ТИПИЗАЦИЯ ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ИХ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОБВОДНЯЕМОСТИ

Обводнение застраиваемых территорий происходит, как правило, при определенных природных и искусственно создаваемых условиях. При этом только в совокупности тех и других условий возможен

подъем уровня грунтовых вод на той или иной застраиваемой территории.

Обводнение грунтов оснований зданий и сооружений можно предупредить, применяя для этого необходимые мероприятия [1, 3]. Однако до настоящего времени как предупредительные, так и защитные мероприятия на обводняемых застраиваемых территориях не нашли широкого применения вследствие многообразия факторов обводнения, что осложняет условия эксплуатации построенных зданий и сооружений.

Выполненные автором систематизация, анализ и обобщение материалов наблюдений по рассмотренным выше промплощадкам позволили разработать их типизацию по степени потенциальной обводняемости (табл. 15).

В основу типизации были положены принципы, состоящие в том, что условия обводнения промплощадки определяются в основном геолого-гидрогеологической, обстановкой, количеством воды, потребляемой предприятием, и величиной инфильтрации.

Изучение условий обводнения промплощадок показало, что в зависимости от природных условий, количества потребляемой воды предприятием на 1 га, режима грунтовых вод и характера влияния хвостохранилища на обводнение грунтов можно выделить четыре типа обводняемости промплощадок горнорудных предприятий.

Промплощадки первого типа характеризуются наиболее благоприятными для обводнения природными условиями. Вместе с тем размещенные на них предприятия в наибольшем количестве потребляют воду. Расход ее достигает 7,3 тыс. м^3/сут на 1 га площади предприятия. Предприятия этого типа расположены на территории Украины, Казахстана и Урала и сложены преимущественно лёссовидными суглинками, реже супесями и кристаллическими породами. В геоморфологическом отношении они находятся на водораздельных равнинах, поймах и террасах, склонах долин рек и гор. Скорость подъема уровня грунтовых вод на промплощадках равна 1,3—2,0 м/год, а величина многолетнего инфильтрационного питания их — $1{,}5 \cdot 10^{-4}$—$3{,}5 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Что касается хвостохранилищ, то они здесь либо создают подпор грунтовых вод, либо являются дополнительным источником их питания.

Ко второму типу отнесены промплощадки, характеризующиеся меньшей потенциальной обводняемостью, особенно за счет влияния искусственных факторов. Расход воды предприятиями здесь не превышает 2,6 тыс. м^3/сут на 1 га их площади. Хвостохранилища предприятий, если и оказывают влияние на обводнение грунтов промплощадок, то незначительное, поскольку они находятся в удалении от них. Промплощадки второго типа расположены на северо-западе европейской части СССР и сложены песками, супесями с галькой и гравием, покрывающими трещиноватые гнейсы и фениты.

Наименьшей возможностью обводнения характеризуются промплощадки третьего типа вследствие глубокого залегания уровня грунтовых вод. Хвостохранилища предприятий являются здесь дополнительным источником питания грунтовых вод. Повышенная

Таблица 15

Типизация застраиваемых территорий по степени их потенциальной обводняемости

№ промплощадки	Тип обводняемости	Литологическое строение промплощадки	Интервал глубин залегания грунтовых вод, м	Геоморфологические условия промплощадки	Расход воды предприятием на 1 га его площади, тыс. м³/сут	Скорость подъема уровня грунтовых вод, м/год	Величина многолетнего инфильтрационного питания грунтовых вод, м/сут	Характер влияния хвостохранилища на обводнение грунтов промплощадки
Украина, Урал, Казахстан, центр европейской части СССР								
1—11	I	Комплекс лёссовидных суглинков, подстилаемых водоупорными глинами	2—12	Водораздельные равнины	4,9—7,3 1,7—3,0	1,3—2,0 0,7—1,0	$1{,}5\cdot10^{-4}$—$3{,}5\cdot10^{-4}$ $0{,}9\cdot10^{-4}$—$1{,}4\cdot10^{-4}$	Создает подпор грунтовых вод
1—11	I	Суглинки, супеси, пески, залегающие на водоупорных глинах	2,5—7	Склон долины и пойма реки	5,5—6,7	0,2—0,5	$4\cdot10^{-4}$—$12\cdot10^{-4}$	Является дополнительным источником питания грунтовых вод
1—11	I	Суглинки и супеси, подстилаемые трещиноватыми породами	13—40	Склон горы	6,0	0,8—1,0	—	Создает подпор грунтовых вод
Северо-запад европейской части СССР								
1,2	II	Пески, супеси с галькой и гравием, покрывающие трещиноватые гнейсы, фениты	4,0—22,5	Склон горы	1,4—2,6	—	—	Грунты промплощадки не обводняет
Восточная Сибирь								
2	III	Суглинки, залегающие на трещиноватых известняках	15—95	Склон долины	3,1	—	—	Является дополнительным источником питания грунтовых вод
Азербайджан								
	IV	Трещиноватые габбро, порфириты и т. д.	—	Склон горы	0,7	—	—	Грунты промплощадки не обводняет

инфильтрация воды из них обусловлена значительной трещиноватостью пород, наличием в них карстовых воронок и слабым развитием четвертичного покрова. Промплощадки такого типа находятся в Восточной Сибири.

В самых неблагоприятных для обводнения грунтов условиях находится четвертый тип промплощадок, расположенных на территории Азербайджана.

Положение промплощадок на крутом склоне горы, сложенной скальными породами, обеспечивает хороший сток ливневых и талых вод. Хвостохранилища предприятий расположены гипсометрически значительно ниже поверхности промплощадок, не оказывая никакого влияния на их обводнение.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЖИМА И БАЛАНС ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Температурный режим грунтов в зоне аэрации на застраиваемой территории изменяется под влиянием многих факторов, которые условно разделяются на три группы: общие, локальные и специфические [123].

К общим факторам относятся составляющие внешнего тепло- и массообмена: радиационный баланс, турбулентный теплообмен, затраты тепла на испарение и конденсацию влаги на дневной поверхности.

Влияние освоения территории на радиационный баланс выражается в ослаблении интенсивности суммарной радиации, увеличении поглощения коротковолновой радиации и уменьшении эффективного излучения Земли. Причиной этого является индустриальное загрязнение атмосферы на территориях промышленных предприятий и городов, а также изменение в черте застройки свойств подстилающей поверхности. Наибольшие изменения составляющих радиационного баланса происходят при наличии на застроенной территории дымовых покрывал.

Актинометрическими наблюдениями, проведенными в 1960—1964 гг. одновременно в г. Воркуте и в тундре на расстоянии 30 км к западу от города, было установлено, что суммарная радиация в городе на 18% ниже, чем в окружающей тундре. Самые низкие ее величины отмечались к концу рабочего дня, когда в атмосфере города накапливалось много копоти и пыли. В ночной период, когда большая часть предприятий и транспорт не работают, концентрация взвешенных в воздухе частиц уменьшается и различие в суммарной радиации на застроенной и незастроенной территории сглаживается.

Таким образом, застройка территории оказывает существенное влияние на приходную часть радиационного баланса. Однако еще в большей степени ее влияние сказывается на его расходную часть. В летний период на застроенной территории происходит уменьшение отраженной радиации и эффективного излучения, в результате этого радиационный баланс значительно возрастает.

Увеличение радиационного баланса, а также выделение тепла промышленными установками и транспортом способствуют повышению среднегодовой температуры воздуха. В городах она обычно на 0,5—1,5° С выше, чем на незастроенной территории.

Как известно, в природных условиях в течение года происходит турбулентный теплообмен поверхности земли с воздухом. Положительные суммы теплообмена (потоки тепла) идут от поверхности земли в атмосферу и отрицательные суммы (потоки холода) — в обратном направлении. На застроенной территории в результате снижения скорости ветра происходит ослабление турбулентного теплообмена. Скорость ветра снижается с увеличением плотности застройки и этажности зданий. Помимо этого, она зависит также от ориентации зданий по отношению к розе ветров.

Особенно сильно сказывается влияние застройки на изменение затрат тепла на испарение. В современных городах испаряется только одна треть осадков, две трети попадают в сточные магистрали [123]. Поскольку испарения с поверхности инженерных покрытий практически не происходит, общая площадь испаряющей поверхности на застроенной территории значительно сокращается. Вместе с этим в результате увеличения здесь радиационного баланса интенсивность испарения с незастроенных участков возрастает. Однако уменьшение площади испаряющей поверхности отражается на балансе испарения сильнее, чем повышение интенсивности испарения.

К локальным факторам относятся тепловое воздействие некоторых инженерных сооружений (горячих цехов) на грунты застраиваемой территории и изоляция грунтов от атмосферы инженерными покрытиями (асфальтом, бетоном, зданиями, сооружениями).

В наибольшей степени тепловое воздействие инженерных сооружений на грунты оснований имеет место на промплощадках предприятий горнорудной, металлургической и химической промышленности (фабрики обжига руды, сталелитейные цеха, коксовые батареи и т. д.). Характер формирования локального температурного поля под конкретным инженерным сооружением, расположенным в черте застройки, во многом определяется общей направленностью теплового процесса в грунтах зоны аэрации на застроенной территории в целом.

Специфические факторы характерны для северных районов территории СССР и связаны с режимом снежных отложений и утепляющим влиянием грунтовых вод.

Таким образом, на застроенной территории образуются многочисленные участки, к которым приложена различная по знаку и величине тепловая «нагрузка». В результате теплового взаимодействия между этими участками в основании застроенной территории формируется единое сложное температурное поле. Режим его зависит от климатических условий района строительства, планировки застройки и конструкции зданий и сооружений. Своим воздействием он нарушает природные процессы тепло- и влагопереноса грунтов зоны аэрации и тем самым оказывает влияние на формирование грунтовых вод на застраиваемой территории.

ИЗМЕНЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Нарушенные застройкой процессы тепло- и влагопереноса грунтов в зоне аэрации происходят в тесной взаимосвязи и приводят к повышению содержания влаги в грунтах, которая, достигая зоны полного насыщения, подпитывает грунтовые воды и тем самым вызывает повышение их уровня. Ниже приводятся результаты исследований автора по изучению закономерностей изменения влажности грунтов на застраиваемых территориях.

Наблюдения за динамикой влажности грунтов зоны аэрации проводили на описанной выше территории города, а также на промплощадке № 1 и на прилегающей к ней территории жилого поселка, которые расположены на Украине.

В пределах территории города были организованы четыре пункта наблюдений за сезонными изменениями влажности грунтов. Пункт № 1 расположен в центре незастроенного участка; № 2 — на окраине этого участка на расстоянии 35 м от асфальтированной улицы; № 3 — на застроенной территории в 3,5 м от отмостки жилого дома и № 4 — в 0,5 м от отмостки жилого дома.

На промплощадке № 1 и на прилегающей к ней территории жилого поселка наблюдения за изменением влажности грунтов также проводили в четырех пунктах. Пункт № 1 расположен на застроенной территории поселка посредине между двумя пятиэтажными жилыми домами на расстоянии 15 м от них; № 2 — у отмостки жилого дома; № 3 — на промплощадке на расстоянии 15 м от асфальтированной дороги; № 4 — на расстоянии 3 м от производственного корпуса.

Пробы грунтов для определения их влажности отбирали в зоне аэрации на территории города в ноябре 1969 г., январе, мае и июле 1970 г., а на промплощадке № 1 и прилегающей к ней территории жилого поселка — в ноябре 1970 г., январе, апреле и июле 1971 г. через каждые 20 см при бурении скважин с помощью бура «Геолог». Кроме того, отбирали одну пробу непосредственно из водоносного слоя.

В результате наблюдений установлена неоднородность процесса водообмена грунтов с атмосферой через зону аэрации как на застроенной, так и на незастроенной территории.

По характеру распределения влажности по глубине в течение года выделяют различные зоны (рис. 47).

1. На незастроенной территории в районе пункта № 1 (рис. 47, *а*) зоны: а) наибольшего сезонного увлажнения; б) среднего сезонного увлажнения; в) минимального сезонного увлажнения; г) капиллярной каймы.

2. На окраине незастроенной территории в районе пункта № 2 и на застроенной территории в районе пунктов № 3, 4 (рис. 47, *б*, *в*, *г*), а также пунктов № 1, 2, 3, 4 (рис. 48) зоны: а) наибольшего сезонного увлажнения; б) среднего сезонного увлажнения.

На рис. 47, *а* видно, что на незастроенной территории сквозного промачивания всей толщи лёссовидных суглинков в течение года

не происходит. Наибольшее увлажнение грунта наблюдается на глубине до 2 м, а наименьшее — на глубине до 3,4 м. Амплитуда колебания влажности в течение года достигает 10,5%.

На окраине незастроенной территории в районе пункта № 2 (см. рис. 47, *б*) характер распределения влажности по глубине,

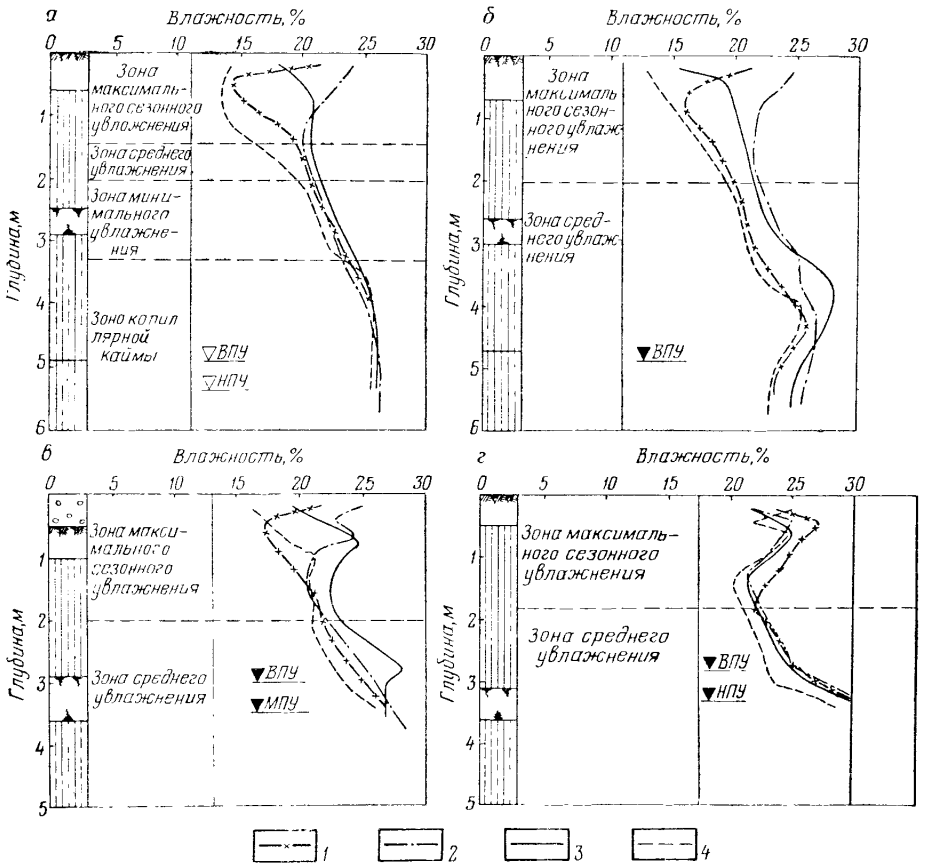


Рис. 47. Эпюры распределения влажности грунтов на территории города.

а — наблюдательный пункт № 1; *б* — то же, № 2; *в* — то же, № 3; *г* — то же № 4; *1* — по наблюдениям 27/XI 1969 г.; *2* — то же, 30/I 1970 г.; *3* — то же, 6/V 1970 г.; *4* — то же, 29/VII 1970 г.; НПУ — низкое положение уровня воды; ВПУ — высокое положение уровня воды

несмотря на примерно одинаковые мощности зон аэрации, становится другим. Вместо зоны наименьшего сезонного увлажнения здесь расположена зона среднего увлажнения. Влажность в зоне капиллярной каймы возросла на 2—3%.

На застроенной территории амплитуда колебания влажности в зоне наибольшего сезонного увлажнения составляет 2—5% (у отмостки здания), на незастроенной территории — 10,5%. Таким образом, в зоне наибольшего сезонного увлажнения можно выделить

следующие два вида водообмена грунтов с атмосферой: 1) наибольший сезонный водообмен на незастроенной территории; 2) наименьший сезонный водообмен у зданий.

В последнее время предложен прямой способ определения атмосферного питания (расхода) грунтовых вод, основанный на изучении влагопереноса в зоне аэрации [125]. Питание или расход грунтовых вод определяется при этом по специальной палетке,

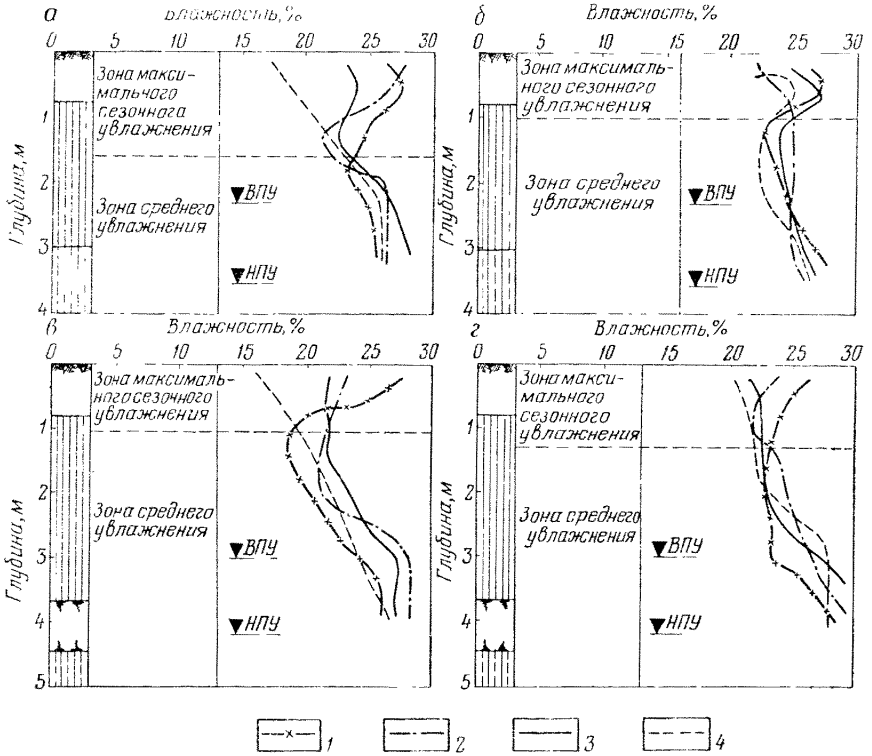


Рис. 48. Эпюры распределения влажности грунтов на промплощадке № 1 и на прилегающей к ней территории поселка.

а — наблюдательный пункт № 1; *б* — то же, № 2; *в* — то же, № 3; *г* — то же, № 4, *1* — по наблюдениям 3/XI 1970 г.; *2* — то же, 28/I 1971 г.; *3* — то же, 15/IV 1971 г.; *4* — то же, 12/VII 1971 г.

представляющей собой набор теоретических эпюр влажности. Каждая палеточная эпюра соответствует строго определенной величине потока влаги, проходящего через зону аэрации. Среди теоретических имеется равновесная эпюра влажности, указывающая на невозможность миграции влаги через зону аэрации (вниз или вверх). Эпюры, расположенные справа от равновесной, указывают на нисходящее перемещение влаги к грунтовым водам, а эпюры, расположенные слева от равновесной, указывают на расход грунтовых вод.

По этому способу было определено направление перемещения влаги в зоне аэрации на застроенной территории и питание грунтовых

вод конденсационными водами. Для этого из эпюр влажности, полученных на незастроенной территории (см. рис. 47, *а*, пункт № 1), была выделена условная равновесная эпюра, соответствующая наблюдению в летний период, когда водоносный горизонт не получает питания сверху, а все атмосферные осадки расходуются на испарение и транспирацию. После этого сравнили положение эпюр влажности в зоне аэрации у пункта № 4 см (рис. 47, *г*) с условной равновесной эпюрой.

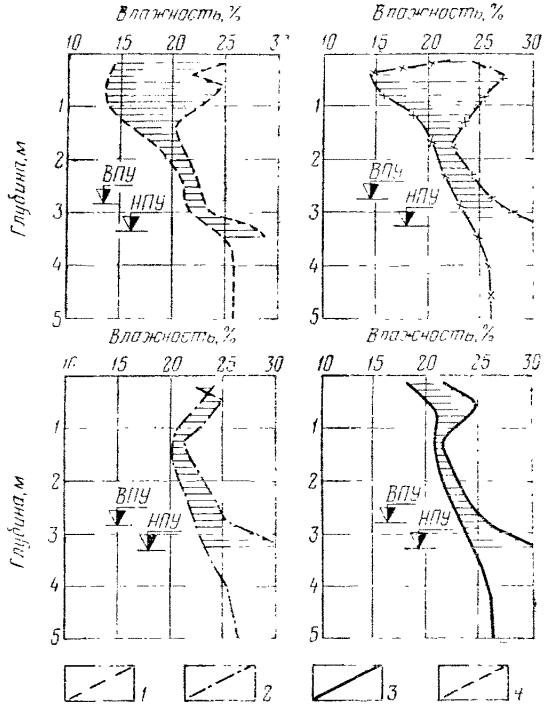


Рис. 49. Сравнение эпюр влажности на незастроенной территории (слева) и у отмостки жилого дома (справа):

1 — по наблюдениям 27/XI 1969 г. (на рис. — пунктир с крестом); *2* — то же, 30/I 1970 г.; *3* — то же, 6/V 1970 г.; *4* — то же, 29/VII 1970 г.

Результаты сравнения положения эпюр показали, что на застроенной территории все эпюры влажности расположены вправо от условной равновесной эпюры и несколько дальше, чем на незастроенной территории (рис. 49), что указывает на нисходящее перемещение влаги независимо от сезонов года. Особенно наглядно это видно на эпюрах влажности грунтов у отмостки жилого дома.

Таким образом, натурными исследованиями влагопереноса установлено, что наименьшая влажность грунта в зоне аэрации наблюдается на незастроенной территории и достигает 13%. По мере приближения к застроенной территории влажность грунтов увеличивается, и это свидетельствует о наличии связи между распределением влажности и характером застройки территории. Наибольшее количество влаги содержится в грунтах у зданий, независимо от сезонов года и количества выпавших атмосферных осадков. Это указывает

на то, что здания и сооружения создают благоприятные условия для образования под ними конденсационных вод, подпитывающих грунтовые воды.

Приближенно количество конденсационных вод, участвующих в питании грунтовых вод, можно определить по содержанию влаги, заключенной между эпюрами влажности зоны аэрации застроенной и незастроенной территории, при сравнении их положения в одинаковые периоды проведенных наблюдений. Таким путем определили величины конденсационных вод в грунтах у отмостки жилого дома, расположенного на территории города (пункт № 4), где наблюдается наибольшее количество влаги в грунтах.

На рис. 49 слева расположены эпюры влажности в зоне аэрации на незастроенной территории, а справа — у отмостки жилого дома. При сравнении эпюр видно, что наибольшее количество конденсационных вод содержится в летний и осенний периоды в первом метровом слое зоны аэрации, а с увеличением глубины наблюдается их уменьшение.

Содержание конденсационных вод удобнее рассматривать в виде запасов воды в миллиметрах водного слоя. В таком виде величину конденсационных вод $W_к$ определяли выше зоны капиллярной каймы до глубины 1,5 м по формуле

$$W_к \frac{w\,\delta T}{10}, \qquad (1)$$

где w — влажность слоя, % от массы сухой породы;

T — мощность слоя, см;

σ — объемная масса слоя, г/см³.

Результаты расчета величины конденсационных вод в пределах отдельных слоев зоны аэрации у отмостки жилого дома приведены в табл. 16.

Таблица 16

Результаты расчета запасов конденсационных вод

Дата наблюдений	Интервал глубин зоны аэрации, м	Мощность слоя, см	Средняя объемная масса суглинков в пределах слоя, г/см³	Средняя влажность суглинков в пределах слоя, %	Запас конденсационных вод в пределах одного слоя, мм водного слоя
30/I 1970 г.	0,2—1,5	130	1,71	1,9	38
6/V 1970 г.	0,2—1,0	80	1,71	3	42
	1,0—1,5	50	1,71	1,8	15,2
29/VII 1970 г.	0,2—1,0	80	1,71	9	109
	1,0—1,5	50	1,71	5	43
27/XI 1969 г.	0,2—1,0	80	1,71	10	137
	1,0—1,5	50	1,71	4	34
Среднее	—	—	—	—	60

Данные табл. 16 показывают, что величина кондепсационных вод в отдельных слоях изменяется от 34 до 137 мм, в среднем она составляет 60 мм. Максимальные ее значения приурочены к летне-осеннему периоду.

МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ И АНАЛИЗ ЗАСОЛЕННОСТИ ГРУНТОВ НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

До настоящего времени с явлениями, связанными с передвижением в почвах и грунтах солевых растворов, приходится встречаться преимущественно при решении вопросов орошения земель. Однако вследствие развития масштабов подтопления застраиваемых территорий, где зачастую грунтовые воды при формировании становятся агрессивными, необходимо изучать солевой режим их и при решении задач, связанных со строительством зданий и сооружений.

Влияние солепосности грунтов как на их собственные строительные свойства, так и на устойчивость фундаментов зданий и сооружений можно считать несомненным. Известно, что сопротивление сжатию, вязкость, текучесть, водные и фильтрационные свойства грунтов находятся в зависимости от количества заключающихся в грунте растворимых солей.

Изучение изменения солевого состава грунтов зоны аэрации проводили на застраиваемой территории города, где были организованы два пункта наблюдений. Один располагался в центре незастроенной территории (кварталы № 289, 290, 304, 305; см. рис. 33), а другой — на застроенной территории на расстоянии 3,5 м от отмостки жилого дома.

Пробы грунтов для определения солевого состава отбирали из всей зоны аэрации через 0,5 м при бурении скважин ручным способом с помощью бура «Геолог». Кроме того, одну пробу отбирали непосредственно из водоносного слоя. Отбор проб производили периодически один раз в сезон в ноябре 1969 г., январе, мае и июле 1970 г.

Исследование водных вытяжек производили по методике А. Е. Орадовской [119]. Для приготовления водной вытяжки отбирали среднюю аналитическую пробу в 100 г абсолютно сухой породы. Пробу помещали в широкогорлый сосуд, куда заливали пятикратное количество дистиллированной воды, лишенной CO_2^{2-} так как присутствие в воде углекислоты может вызвать растворение труднорастворимых карбонатов кальция и магния. Сосуд с породой и водой закрывали пробкой и смесь взбалтывали в течение 5 мин, а затем отфильтровывали для определения ионного состава вытяжки. При этом определяли следующие ионы: CO_3^{2-}, HCO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, $K^+ + Na^+$ по разности.

Анализ данных водных вытяжек позволил выделить на незастроенной территории две зоны засоления грунтов. От поверхности земли до глубины 3 м располагается зона минимального засоления, которая согласуется с глубиной сезонного влагообмена грунтов на территории города (см. рис. 47) и наблюдениями за солевым составом грунтов других авторов [5, 65]. Тип засоления грунтов в этой

зоне гидрокарбонатный кальцево-натриевый. Максимальное количество солей (2,3—2,6 мг-экв на 100 г породы) содержится в осенний период минимальное (1,6—1,9 мг-экв) — в весенне-летний. В пределах засоления верхней зоны легкорастворимые соли распределены равномерно. Особенностью солевого профиля этой зоны является очень незначительное количество Cl^-.

Ниже зоны минимального засоления до уровня грунтовых вод, т. е. до глубины 5,5—6,0 м, располагается зона максимального засоления. В этой зоне тип засоления грунтов сульфатный кальциево-магниево-натриевый.

Выше было отмечено, что на незастроенной территории атмосферные осадки не проникают глубже зоны сезонного влагообмена и расходуются на испарение и транспирацию растительностью. Вся остальная толща зоны аэрации остается по существу вне их влияния. Несмотря на это, в зоне максимального засоления в течение года также наблюдается изменение содержания солей. По мнению автора, изменение солевого состава по сезонам года в данном интервале происходит в результате перераспределения влаги за счет ее внутригрунтового испарения и конденсации.

Наибольшее количество легкорастворимых солей (до 12,7 мг-экв на 100 г породы) содержится в весенний, а наименьшее (2,1—4,3 мг-экв на 100 г породы) — в осенне-зимний периоды. В целом по глубине соли в этой зоне распределены более или менее равномерно, и только в верхней части зоны наблюдается большее их скопление, что, по-видимому, связано с поверхностью капиллярной каймы, откуда происходит внутригрунтовое испарение.

На застроенной территории вместо зоны минимального засоления имеется одна зона максимального засоления грунтов. Образование ее связано с вторичным их засолением. Тип засоления — сульфатно-хлоридный кальцево-натриевый. Наибольшее количество солей (до 15 мг-экв на 100 г породы) содержится в почвенном слое до глубины 0,5 м, а наименьшее (3,1—4,0 мг-экв на 100 г породы) — в интервале 1,0—1,5 м. В течение года количество легкорастворимых солей возрастает в 1,2—4,0 раза по сравнению с содержанием их в весенне-летний период.

Основным источником, засоляющим лёссовидные суглинки на застраиваемой территории, является гипс, который встречается в них в виде крупных кристаллов, друз и других форм, а вынос солей к поверхности земли происходит капиллярным и диффузионным токами воды.

КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Выполненные многолетние исследования позволили автору разработать классификационную схему режима грунтовых вод застраиваемых территорий (табл. 17). В отличие от существенных классификаций искусственного типа режима грунтовых вод А. А. Коноплянцева, В. С. Ковалевского, С. М. Семенова [74], С. П. Абрамова,

Классификация режима грунтовых вод

Геоморфологическое строение	Литологический состав	Глубина залегания водоупора, м	Глубина залегания уровня воды, м	Вид фильтрации воды	Тип воды	Тип режима вод	Условия накопления вод	Характе
								Интенсивность
Юг и центр европейской								
Водоразделы	Лёссовидные суглинки	7—15	8—12	Свободная	Воды зоны аэрации типа верховодки	Климатический	Инфильтрация атмосферных осадков	Умеренное
			3,5—8	Свободно-подпертая	Антропогенные	Искусственный	Утечки производственно-хозяйственных вод	Усиленное
					Смешанные (грунтовые и антропогенные)	Искусственно-климатический	Инфильтрация атмосферных осадков и утечки производственно-хозяйственных вод	Весьма усиленное
					Конденсационные		Конденсация влаги под зданиями и другими покрытиями	Слабое
Юг европейской части								
Речные долины	Пески, супеси и суглинки	10—20	15—18	Свободная	Грунтовые	Климатический	Инфильтрация атмосферных осадков	Умеренное
			3—7	Свободно-подпертая	Антропогенные	Искусственный	Утечки производственно-хозяйственных вод	Усиленное
					Смешанные (грунтовые и антропогенные)	Искусственно-климатический	Инфильтрация атмосферных осадков и утечки производственно-хозяйственных вод	Весьма усиленное

Таблица 17

застраиваемых территорий

ристика инфильтрационного питания			Направленность режима вод за многолетний период	Скорость подъема уровня воды, м/год	Область распространения
Длительность	Вид	Величина многолетнего питания, м/сут			
части СССР					
Сезонное	Равномерное по площади	$0{,}8 \cdot 10^{-4}$—$1{,}0 \cdot 10^{-4}$	Установившийся цикличный	0,7—1,3	Незастроенные участки промплощадки
Постоянное	Неравномерное по площади и локальное	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$—$3{,}5 \cdot 10^{-4}$	Неустановившийся восходящий		Застроенные участки промплощадки
Постоянное и сезонное			Установившийся цикличный		
Сезонное	Локальное	До 30—60 мм/год			
СССР и Казахстан					
	Равномерное по площади	$1{,}0 \cdot 10^{-4}$—$1{,}2 \cdot 10^{-4}$	Установившийся цикличный	0,3—0,5	Незастроенные участки промплощадки
Постоянное	Неравномерное по площади и локальное	$1{,}3 \cdot 10^{-4}$—$12 \cdot 10^{-4}$	Неустановившийся восходящий		Застроенные участки промплощадки
Постоянное и сезонное			Установившийся цикличный		

Геоморфологическое строение	Литологический состав	Глубина залегания водоупора, м	Глубина залегания уровня воды, м	Вид фильтрации воды	Тип воды	Тип режима вод	Условия накопления вод	Характе	
									Интенсивность
Урал, Сибирь и северо-запад									
Склоны	Пески с галькой и гравием, известняки, габбро	—	3—50	Свободная	Пластово-трещинные	Климатический	Инфильтрация атмосферных осадков		Умеренное
						Подземного стока	Сток грунтовых вод с горных районов		
			3—35	Свободно-подпертая	Антропогенные	Искусственный	Утечки производственно-хозяйственных вод		Усиленное
					Смешанные (пластово-трещинные и антропогенные)	Искусственно-климатический	Инфильтрация атмосферных осадков и утечки производственно-хозяйственных вод		Весьма усиленное

Е. С. Дзекцера, З. П. Гавшиной [6] предлагаемая классификация включает в себя количественные выражения некоторых факторов, формирующих режим грунтовых вод на застраиваемых территориях, что крайне необходимо для прогноза подтопления объектов. К ним относятся величины инфильтрационного питания грунтовых вод и скорости подъема их уровня.

На основе анализа факторов, влияющих на формирование режима грунтовых вод, и материалов многолетних режимных наблюдений можно выделить на промплощадках предприятий климатический, искусственный и искусственно-климатический типы режима грунтовых вод.

Климатический тип режима грунтовых вод выделен на основе изучения характера промышленной застройки действующих горнорудных предприятий. Наибольшая плотность застройки на их промплощадках наблюдается в пределах расположения главных корпусов (дробления, обогащения и др.). В удалении от них и особенно вблизи периферии промплощадки имеются незастроенные участки

Продолжение табл. 17

рактика инфильтрационного питания			Направленность режима вод за многолетний период	Скорость подъема уровня воды, м/год	Область распространения
Длительность	Вид	Величина многолетнего питания, м/сут			
европейской части СССР					
Сезонное	Равномерное по площади	—	Установившийся цикличный		Незастроенные участки промплощадки
Постоянное	Неравномерное по площади и локальное	—	Неустановившийся восходящий	0,2—1,0	Застроенные участки промплощадки
Постоянное и сезонное			Установившийся цикличный		

с климатическим режимом грунтовых вод. Об этом достаточно наглядно свидетельствуют материалы многолетних наблюдений за режимом уровня грунтовых вод.

При климатическом типе режима кривая хода изменения уровня грунтовых вод зависит преимущественно от выпадения атмосферных осадков и имеет один максимум и один минимум. Максимальное положение уровня грунтовых вод приурочивается к весенне-летнему периоду, а минимальное — к осенне-зимнему. Направленность режима за многолетний период — установившийся, цикличный. Амплитуда колебания уровня грунтовых вод составляет 0,3—0,6 м. Величина многолетнего инфильтрационного питания их, полученная гидродинамическим методом, изменяется от $0{,}6 \cdot 10^{-4}$ до $1{,}0 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Искусственный тип режима грунтовых вод характеризует участки, занимаемые цехами с большим потреблением воды, и формируется под влиянием утечек технических и хозяйственных вод. Неоднократно на таких участках наблюдается неустановившийся восходящий режим со скоростью подъема уровня грунтовых вод

в слабопроницаемых грунтах 0,7—1,3 м/год, который продолжается до тех пор, пока повышение уровня не будет приостановлено все возрастающим воздействием расходных статей водного баланса (транспирация, испарение, отток). Затем снова происходит установившийся цикличный режим, но только со значительно большей (до 1,0—1,5 м) амплитудой колебания уровня. Отличительная особенность искусственного типа режима заключается в усиленном и неравномерном по площади питании водоносного горизонта.

На участках промплощадок горнорудных предприятий с неблагоприятными условиями стока атмосферных и талых вод и с большой насыщенностью подземных коммуникаций развит искусственно-климатический тип режима грунтовых вод. Он определяется совместным влиянием на уровень грунтовых вод инфильтрации атмосферных осадков и утечек технических вод и отличается весьма усиленным питанием, величина которого в слабопроницаемых грунтах достигает $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ м/год и более. На таких участках скорость подъема уровня грунтовых вод составляет 1,4—1,8 м/год. В супесях величина инфильтрации достигает $7{,}4 \cdot 10^{-4}$ м/сут и более.

С точки зрения направленности процесса данный тип режима может быть в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод неустановившимся восходящим или установившимся цикличным.

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ ВОДЫ ИЗ ВОДНЫХ УЗЛОВ И КОММУНИКАЦИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД

Для составления прогноза подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях и разработки мероприятий, предупреждающих их подтопление, необходима количественная оценка инфильтрационных потерь из водопроводных и канализационных сетей и сооружений.

Практика показывает, что прямые способы определения потерь производственно-хозяйственных вод исключительно трудоемки и дают ненадежные результаты. Наиболее достоверные сведения о потерях воды из подземных водонесущих коммуникаций можно получить путем анализа режима колебания уровня грунтовых вод на промплощадке предприятия.

Оценку потерь воды из водных узлов и коммуникаций производили на промплощадке № 1, расположенной на Украине, где проводились стационарные режимные наблюдения за уровнем грунтовых вод [21]. Динамика роста мощности водоносного горизонта и куполообразная форма его поверхности на промплощадке № 1 наглядно свидетельствуют о постоянном наличии участков с повышенным питанием грунтовых вод.

На протяжении нескольких лет на промплощадке № 1 наблюдался непрерывный подъем уровня грунтовых вод, независимо от сезона года (см. рис. 4, скв. 2459, 2460 и др.). Увеличились также весенняя и годовая амплитуды колебаний уровня грунтовых вод. Выше было отмечено, что это связано с питанием грунтовых вод не только атмосферными осадками инфильтрация которых возросла

Таблица 18

Результаты расчленения суммарной инфильтрации

№ скважины	Период наблюдений	Глубина подъема уровня воды, м	Амплитуда весеннего подъема, м	Годовая амплитуда, м	Отношение весенней амплитуды к годовой	Инфильтрация, мм/год		
						суммарная	атмосферных осадков	производственно-хозяйственных вод
2465	15/XI 1965 г.—15/XI 1966 г.	8,4—5,9	1,6	2,5	0,64	178,6	76,2	102,4
	15/XI 1966 г.—15/XI 1967 г.	6,6—5,0	1,0	1,6	0,63		73,4	105,2
2460	10/XII 1965 г.—10/XII 1966 г.	7,9—5,8	1,2	2,1	0,57	120,0	36,1	83,9
2459	10/XII 1964 г.—10/XII 1965 г.	9,2—7,4	0,7	1,8	0,39	178,6	22,6	156,0
	10/XII 1965 г.—10/XII 1966 г.	7,4—6,2	0,8	1,2	0,67		94,5	84,1
2449	15/XI 1966 г.—15/XI 1967 г.	7,2—5,4	1,0	1,8	0,55	70,2	19,8	50,4
2446	10/XII 1964 г.—10/XII 1965 г.	9,7—6,5	1,2	3,2	0,37	50,2	4,8	45,4
2455	10/XII 1964 г.—10/XII 1965 г.	10,0—7,2	1,9	2,8	0,68	178,6	97,4	81,2
	10/XII 1965 г.—10/XII 1966 г.	7,2—5,9	0,5	1,3	0,38		17,3	161,3
2458	15/XI 1966 г.—15/XI 1967 г.	8—6,2	1,0	1,8	0,64	178,6	76,1	102,5
	15/XI 1967 г.—15/XI 1968 г.	6,2—5,2	0,5	1,0	0,50		36,3	142,3
2464	15/XI 1965 г.—15/XI 1966 г.	7,9—5,5	1,8	2,4	0,75	178,6	107,5	71,1
	15/XI 1966 г.—15/XI 1967 г.	6,5—5,0	1,3	1,5	0,87		141,4	37,2
2462	15/XI 1965 г.—15/XI 1966 г.	7,7—5,4	1,6	2,3	0,70	120,0	63,0	57,0
2463	10/XII 1964 г.—15/XII 1965 г.	8—5,6	1,0	2,4	0,42	178,6	29,8	148,8
2447	15/XI 1965 г.—15/XI 1966 г.	10,3—7,6	1,4	2,7	0,52		14,4	55,8
	15/XI 1966 г.—15/XI 1967 г.	7,6—5,7	1,4	1,9	0,74		41,0	29,2
2450	10/XII 1965 г.—10/XII 1966 г.	11,2—9,8	0,7	1,4	0,50	70,2	19,8	50,4
2454	15/XII 1967 г.—15/XII 1968 г.	7,1—5,5	0,8	1,6	0,50	120,0	24,4	95,6
	Средняя инфильтрация						52,4	87,3

в процессе застройки, но и с постоянными утечками производственных и хозяйственных вод.

Характерной особенностью природного режима колебаний уровня грунтовых вод на территории промплощадки № 1, относящейся к зоне с недостаточным увлажнением, является наличие на протяжении года выраженных весеннего подъема и летне-осеннего спада.

Известно, что в природных условиях весенний подъем определяется инфильтрацией, обусловленной таянием снега, осадками, которые приходятся на весенний период, и запасами влаги, находящейся в зоне аэрации в осенне-зимний период. Летне-осенний спад происходит в результате расхода грунтовых вод вследствие дренирования их поверхностными водотоками и водоемами, а также максимального испарения как с поверхности земли, так и с поверхности грунтовых вод.

В нарушенных застройкой условиях, как отмечалось выше, на участках с повышенной инфильтрацией отсутствуют летне-осенние спады, а на протяжении года наблюдаются лишь непрерывные подъемы, обусловленные дополнительными источниками питания грунтовых вод и прежде всего постоянными потерями производственных вод, участвующих в технологическом цикле. При этом непрерывный подъем уровня грунтовых вод происходит до глубины в среднем 5 м. Выше этой отметки он нарушается из-за существенного влияния природных факторов — испарения и транспирации.

Суммарное значение инфильтрации условно можно разделить на инфильтрацию атмосферных осадков и инфильтрацию производственно-хозяйственных вод путем рассмотрения отношения весенней амплитуды колебания уровня грунтовых вод к годовой.

В табл. 18 приводятся по ряду наблюдательных скважин (см. рис. 4) значения непрерывных годовых подъемов уровня грунтовых вод и амплитуды весенних подъемов на промплощадке № 1, а также полученные гидродинамическим методом [62] значения максимальной суммарной инфильтрации в рассматриваемые периоды.

Режимные наблюдения за колебанием уровня грунтовых вод на всей промплощадке № 1 показали, что весенний подъем начался в середине ноября — начале декабря и продолжался до начала апреля.

Рассмотрим пример расчленения суммарной инфильтрации на инфильтрацию атмосферных осадков и потери производственно-хозяйственных вод.

Пример. За период с 15 ноября 1965 г. по 15 ноября 1966 г. в наблюдательной скв. 2465 амплитуда весеннего подъема составляла 1,6 м, а годовая — 2,5 м (см. табл. 18), длительность весеннего подъема — 137 сут, а спада — 228 сут. Суммарная инфильтрация на участке расположения скв. 2465 за год, вычисленная гидродинамическим методом, составила 178,6 мм. Отношение весенней амплитуды колебания уровня грунтовых вод к годовой равно 1,6 : 2,5 = 0,64. Вначале допускаем, что потери производственно-хозяйственных вод происходят только в период летне-осеннего спада (228 сут). Тогда из полученного соотношения амплитуд следует, что инфильтрация

атмосферных осадков составляет 64% (114,5 мм/год) суммарной, а потери производственно-хозяйственных вод — 36% (64,1 мм/год).

Затем определяем величину потерь в сутки за период спада уровня воды: 64,1 : 228 = 0,28 мм/сут. Поскольку потери носят постоянный характер, определяем их величину и за период весеннего подъема (137 сут): 137 × 0,28 = 38,3 мм. Общие потери производственно-хозяйственных вод в течение годичного цикла наблюдений будут равны: 64,1 + 38,3 = 102,4 мм/год. Действительная величина инфильтрации атмосферных осадков составит: 178,6 — 102,4 = = 76,2 мм/год.

Выполненные таким методом расчеты являются приближенными, однако они показывают, что на промышленной площадке № 1 основными являются потери производственно-хозяйственных вод, которые в среднем (по 13 наблюдательным скважинам) составляют 87,3 мм/год, а инфильтрация атмосферных осадков равна 52,4 мм/год, что в 1,4 раза превышает инфильтрацию в природных условиях.

ЗАКОНОМЕРНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД С ГЛУБИНОЙ ЗАЛЕГАНИЯ ИХ УРОВНЯ

Изучение изменения инфильтрационного питания грунтовых вод с глубиной залегания их уровня производилось на промплощадке № 1, которая находится на территории Украины.

Ввиду сложного характера формирования фильтрационного потока по промплощадке № 1 для количественной оценки изменения инфильтрационного питания грунтовых вод с глубиной залегания их уровня возникла необходимость применения метода математического моделирования путем постановки и решения обратной плановой задачи [18]. Моделирование осуществляли на основе данных режимных наблюдений за уровнем грунтовых вод.

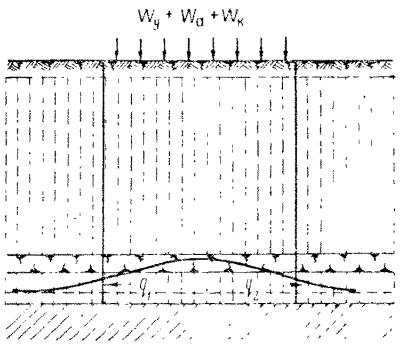


Рис. 50. Схема питания грунтовых вод в районе промплощадки № 1

При разработке модели фильтрационного потока за основные факторы, определяющие мощность четвертичного водоносного горизонта, принимали (рис. 50): утечки технических и питьевых вод из водосборных сооружений и водонесущих подземных коммуникаций $W_у$; повышенную инфильтрацию атмосферных осадков $W_а$ за счет ухудшения условий нормального поверхностного стока, внутригрунтовую конденсацию водяных паров $W_к$, подпитывающих грунтовые воды; растекание воды q_1 и q_2 в стороны. С точки зрения гидрогеологического подхода к решению обратной задачи допускалось, что вышеприведенные параметры инфильтрации влияют суммарно

на изменение мощности четвертичного водоносного горизонта. Для такой схемы условий питания водоносного горизонта баланс потока равен

$$\Delta F(W_{\text{у}} + W_{\text{а}} + W_{\text{к}}) = q_1 + q_2, \qquad (2)$$

где ΔF — площадь, на которой происходит инфильтрация.

С целью изучения закономерности изменения инфильтрационного питания грунтовых вод с увеличением их глубины величину инфильтрации определяли поэтапно с применением метода Либмана [130]. Для трех этапов изменения средней глубины залегания уровня воды приведены в табл. 19.

Таблица 19

Изменение глубины залегания уровня воды по этапам

Этапы	Период наблюдений	Интервал глубин, м
1	10/XII 1964 г.—22/VI 1965 г.	8,9—7,6
2	23/VI 1965 г.—16/VII 1966 г.	7,6—6,4
3	17/VII 1966 г.—16/IV 1967 г.	6,4—5,3

Границу инфильтрационного потока принимали при моделировании по линии, где напоры были равны уровню поверхности водоупора (красно-бурых глин), т. е., где мощность потока равна нулю.

На первом этапе моделирования вся площадка была разбита на 89 расчетных блоков размером 80 × 80 м. По мере увеличения исследуемой площади возрастало и количество расчетных блоков. На втором этапе их было 180 того же размера и на третьем — 237, в том числе 213 блоков размером 80 × 80 м и 24 блока, находящихся на границе фильтрационного поля, размером 80 × 160 м.

Инженерно-геологическими изысканиями установлено, что коэффициенты фильтрации лёссовидных суглинков отличаются в пределах промплощадки № 1 большой пестротой, и это не позволило составить карту водопроводимости суглинков для исследуемой промплощадки. Поэтому средний коэффициент фильтрации для них приняли 0,3 м/сут и считали, что проводимость пласта на каждом этапе изменяется только за счет увеличения его мощности. Вместе с тем при моделировании не учитывали неоднородность фильтрационных свойств лёссовидных суглинков в разрезе.

При решении задачи предполагалось, что все параметры сосредоточены в центре каждого блока и центры блоков соединены между собой сопротивлениями, величины которых определяли по формуле

$$\Phi = \frac{l}{bT} \text{ [сут/м}^3\text{]}, \qquad (3)$$

где l — расстояние между центрами блоков, м;

b — ширина блока, м;

T — проводимость пласта, м^2/сут.

Электрическое сопротивление определяли по формуле

$$R_i = \alpha_R \Phi_i = \alpha_R \frac{l}{bT}, \tag{4}$$

где α_R — масштаб сопротивления.

При моделировании величины напоров $\overline{H}$ (м) приводили к разнице между наибольшими значениями напоров. Величину такого приведенного напора определяли из соотношения

$$H = \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}} \cdot 100\%. \tag{5}$$

Соответственно на электрической модели все величины электрического потенциала также считали в приведенном виде

$$U = \frac{U - U_{\min}}{U_{\max} - U_{\min}} \cdot 100\%. \tag{6}$$

Баланс тока для сетки Либмана при наличии инфильтрации определяли из уравнения

$$\sum_{i=1}^{4} = \frac{U_i - U}{R_i} = \frac{U - (U' + U'')}{R_t}, \tag{7}$$

где U_i — потенциал в четырех соседних блоках в расчетный период времени;

R_i — сопротивление между блоками;

U и U' — потенциалы в центральном блоке в расчетный момент времени t и в некоторый предыдущий момент времени $t - \Delta t$;

U'' — потенциал, соответствующий величине инфильтрации;

R_t — временное сопротивление, которое определяется по формуле

$$R_t = \alpha_R \frac{\Delta t}{\mu \Delta F}; \tag{8}$$

здесь Δt — расчетный интервал времени;

μ — водоотдача;

ΔF — площадь блока;

α_R — масштабный коэффициент сопротивления.

Количество воды, поступающее в блок за счет суммарной инфильтрации, задавали током в каждую узловую точку сетки с помощью канала второго рода. Задачу решали на электроинтеграторе методом последовательных приближений. На модели подбирали такую величину тока, которая изменяла потенциал в узле сетки до среднего (по блоку) значения, вычисленного по результатам наблюдений за уровнем грунтовых вод. Величину инфильтрации в каждом блоке определяли из соотношения

$$W = \frac{I}{\alpha \Delta F}, \text{ м/сут}, \tag{9}$$

где I — величина тока, поступающая на блок;

ΔF — площадь блока, на которую подается ток;

α — масштабный коэффициент тока.

По результатам моделирования для каждого этапа построены схемы изолиний инфильтрации на промплощадке комбината. Из схем изолиний видно, что величины инфильтрации на всей промплощадке изменяются от нуля до $8 \cdot 10^{-4}$ м/сут. Наибольшие из них ($7 \cdot 10^{-4}$—$8 \cdot 10^{-4}$ м/сут) тяготеют к местам расположения двух емкостей с технической водой, первой очереди корпусов обогащения и дробления и склада концентрата, что согласуется с максимальным подъемом уровня грунтовых вод в этих местах, значения которого по некоторым скважинам приводились выше.

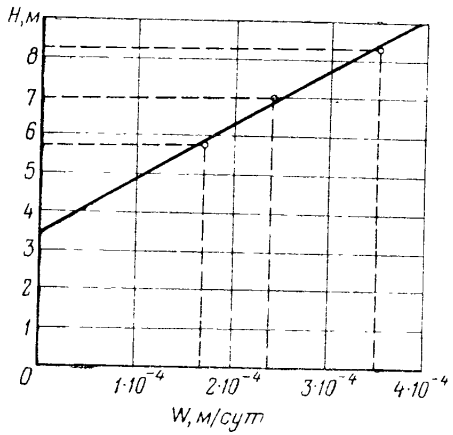


Рис. 51. Зависимость средней величины инфильтрационного питания грунтовых вод W от глубины залегания их уровня H

Для получения более достоверных сведений о зависимости инфильтрационного питания грунтовых вод от глубины залегания их уровня среднюю величину инфильтрации в пределах промплощадки определяли на каждом этапе по 89 расчетным блокам (113 узловым точкам), которые охватывали площадь с наибольшим количеством наблюдательных скважин.

Расчеты показывают, что при средней глубине залегания уровня грунтовых вод 8,3 м на первом этапе моделирования средняя величина инфильтрации по 89 расчетным блокам равна $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ м/сут; при глубине 7 м (на втором этапе моделирования) — $2{,}7 \cdot 10^{-4}$ м/сут и при глубине 5,8 м (на третьем этапе) — $1{,}7 \cdot 10^{-4}$ м/сут. С увеличением глубины залегания грунтовых вод величина инфильтрации, характеризующая скорость подъема их уровня, возрастает по закону прямой линии (рис. 51), которая имеет вид

$$y = kx + b, \tag{10}$$

где y — глубина залегания уровня грунтовых вод;

x — величина инфильтрации при определенной глубине залегания уровня воды;

b — начальная ордината, соответствующая такой глубине залегания уровня воды, на которой величина инфильтрационного питания равна нулю. Для рассматриваемой площадки она равна 3,5 м;

k — угловой коэффициент (при данной зависимости величины инфильтрации от глубины залегания уровня воды он равен 14 285).

Из выражения (10) вытекает формула для определения величины инфильтрационного питания грунтовых вод при глубине залегания их уровня более 3,5 м:

$$W = 7\,(H - H^0) \cdot 10^{-5}, \qquad (11)$$

где W — величина инфильтрации, характеризующая скорость подъема уровня воды, м/сут;

H — глубина залегания уровня грунтовых вод, м;

H° — глубина залегания уровня грунтовых вод, равная 3,5 м, на которой величина инфильтрации равна нулю.

Наблюдениями установлено, что подъем уровня грунтовых вод на подтапливаемой территории происходит до момента наступления динамического равновесия между приходной и расходной частями водного баланса, после чего дальнейшее инфильтрационное питание не вызывает повышения уровня воды.

Средняя глубина залегания уровня грунтовых вод с динамическим равновесием баланса по ряду площадок подтапливаемых объектов, расположенных в районе промплощадки № 1, составляет 3,35 м (табл. 20) и мало отличается от значения начальной ординаты (3,5 м).

Таблица 20

Данные о глубинах залегания уровня воды на подтапливаемых объектах района промплощадки № 1

Площадки	Период наблюдений, годы	Число наблюдательных скважин	Число замеров уровня грунтовых вод	Средняя глубина залегания уровня грунтовых вод, м
Металлургического завода	1959—1960 гг.	19	500	3,64
Коксохимического завода	1952—1954 гг.	16	440	3,90
	1952—1959 гг.	27	1225	3,57
Цементного завода	1966—1967 гг.	24	372	2,72
Жилого массива	1969—1970 гг.	21	341	2,95
Всего		107	2878	3,35

Эмпирическая зависимость (11) определяет среднюю для всей промплощадки величину инфильтрационного питания грунтовых вод. На отдельных участках инфильтрация будет выше или ниже средней в зависимости от наличия на них цехов с большим расходом воды. Такая дифференцированная оценка инфильтрационного питания грунтовых вод не была произведена из-за недостаточного количества наблюдательных скважин. Формула (11) может быть использована при составлении прогноза подтопления грунтовыми водами промышленных территорий, находящихся в условиях, аналогичных району промплощадки № 1.

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЖИМА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Многолетние наблюдения за режимом уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях показывают, что, несмотря на различные условия их обводнения, в формировании режима грунтовых вод отмечаются некоторые общие закономерности, которые заключаются в следующем.

При формировании водоносного горизонта на застраиваемой территории, сложенной лёссовыми породами, поверхность грунтовых вод имеет куполообразную форму. При этом в начальный период его формирования зеркало образующихся или поднимающихся грунтовых вод имеет несколько куполообразных поднятий, вершины которых тяготеют к местам наибольшего поступления воды в грунт. Куполообразная форма поверхности наблюдается на территориях, расположенных как на плоских, так и на пологих водоразделах. Со временем количество куполообразных поднятий уменьшается и зеркало грунтовых вод приобретает форму преимущественно одного большого купола.

Подъем уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях происходит до момента наступления динамического равновесия между приходной и расходной частью водного баланса, после чего дальнейшее инфильтрационное питание не вызывает повышения уровня воды. Глубина залегания уровня грунтовых вод с динамическим равновесием баланса зависит от геолого-гидрогеологических, климатических особенностей застраиваемого района и искусственных условий подтопления. Так, на застраиваемых территориях центра и юга европейской части СССР, Казахстана она колеблется от 2 до 3—5 м.

Минимальная глубина уровня воды наблюдается на территориях, где водоупорные породы (глины) приближаются к поверхности до 4 м и менее. Помимо этого, наименьших величин она достигает и при более глубоком залегании водоупора, но только с неровным рельефом его кровли, т. е. на участках с неблагоприятными условиями подземного стока.

На застраиваемых территориях амплитуда колебания уровня грунтовых вод с динамическим равновесием баланса в 2—2,5 раза больше, чем на незастроенных. Форма кривой изменения уровня воды на площадках промышленных предприятий осложнена больше, чем на территориях, застроенных гражданскими зданиями [13].

На незатронутых строительством площадях как с глубоким, так и с близким залеганием грунтовых вод, где на их формирование оказывают влияние только климатические факторы, прослеживается установившийся тип режима уровня. На участках же усиленной инфильтрации (промплощадки предприятий с большим потреблением воды) с глубоким залеганием грунтовых вод наблюдается неустановившийся восходящий тип режима уровня. Но при приближении грунтовых вод к поверхности он сменяется установившимся цикличным.

По мере приближения грунтовых вод к поверхности наблюдается уменьшение величины инфильтрации, характеризующей скорость подъема их уровня. Подобная закономерность обусловливается особенностями формирования грунтовых вод в лёссовидных грунтах, а именно: при росте мощности водоносного горизонта его кровля приобретает куполообразную форму, в результате чего градиенты скорости фильтрации увеличиваются, а скорость подъема уровня грунтовых вод падает. Кроме того, при приближении их уровня к поверхности возрастает расход воды на испарение и транспирацию. Изменение величины инфильтрации с глубиной залегания уровня грунтовых вод описывается линейной зависимостью.

Продолжительность развития подтопления территории промышленного предприятия или населенного пункта определяется мощностью обводняемых грунтов, их водопроницаемостью, а также условиями питания и дренирования грунтовых вод. На территориях изученных объектов, расположенных в различных географических зонах, она изменяется преимущественно от 2 до 10 лет.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЖИМА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В главе II отмечено, что грунтовые воды на исследованных застроенных территориях приурочены к песчаным отложениям, суглинкам, кристаллическим породам и залегают на глубине от 2 до 95 м. Максимальные, минимальные и средние содержания в них компонентов, а также величины сухого остатка приведены в табл. 21, 22.

Как известно, величина общей минерализации грунтовых вод и содержание в них отдельных компонентов во многом определяются взаимодействием воды с породой. Наряду с этим существенную роль в формировании химического состава грунтовых вод играют климатические факторы (соотношение осадков и испарения, среднегодовая температура воздуха и др.).

Многими исследователями установлено, что изменения в химическом составе грунтовых вод происходят в направлении с севера на юг [74]. Подобные региональные закономерности наблюдаются и на исследованных застроенных территориях.

Наименее минерализованные воды распространены на промплощадках северо-запада европейской части СССР, которые приурочены к песчано-глинистым отложениям и трещиноватым кристаллическим породам. Сухой остаток их колеблется от 29 до 818 мг/л, в среднем по двум промплощадкам он составляет 209 мг/л.

По преобладающим ионам грунтовые воды в этой климатической зоне относятся к гидрокарбонатно-сульфатному кальциевому типу. Особенно большая амплитуда колебания в содержании ионов SO_4^{2-} (от 2 до 509 мг/л) и Ca^{2+} (от 4 до 162 мг/л). Нередко они обладают повышенной кислотностью или щелочностью. Общая жесткость грунтовых вод изменяется от 0,3 до 10 мг-экв.

Грунтовые воды промплощадок Урала и Сибири, приуроченные главным образом к трещиноватым кристаллическим породам, близки

Таблица 21

Химический состав грунтовых вод

№ промплощадки	Число проб	Год отбора проб	Катионы, мг/л				Анионы, мг/л						Общая жесткость, мг-экв	pH	Сухой остаток, мг/л
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	NH_4^+	$K^+ + Na^+$	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	CO_3^{2-}	NO_2^-	NO_3^-			
Центр и юг европейской части СССР															
			250 *	325	7	1180	3530	780	387	174	3,0	4,0	41	7,8	5 894
1	36	1970—1971	6 **	7	0,2	32	1,2	12	20	6	1,5	0,4	0,2	5,8	260
			55 ***	69	2,2	385	710	300	150	55	2	1,4	8,5	6,8	1 580
			253	450	30	1356	4106	1989	1978	120	1,2	17,5	39	9,3	6 928
2	71	1972—1973	6	2	0,1	77	70	12	15	18	0,02	0,3	1,6	5,4	269
			63	88	4,4	475	832	440	375	63	0,6	10	11	7,5	2 290
			425	238	1,2	1037	1964	305	1708	—	1,5	12	39	6,6	5 277
3	14	1970	305	204	0,7	232	600	226	297	—	1	3,4	32	6,6	2 684
			370	216	0,9	658	1293	253	1257	—	1,3	7,7	36	6,6	4 062
			612	870	—	2737	5257	403	4300	—	—	—	102	6,5	14 179
4	10	1972	171	6	—	129	790	55	150	—	—	—	9	6,0	1 301
			432	394	—	1111	2806	176	1452	—	—	—	54	6,1	6 371
			411	1136	3,0	3288	8953	390	1509	—	—	15,4	113	6,6	16 367
5	15	1967	124	108	1,2	480	1360	98	110	—	—	14,7	15	6,6	2 317
			302	678	2,1	1947	6220	229	820	—	—	15,0	71	6,6	10 866
			148	59	—	1099	128	—	1620	—	—	—	12,5	8,0	3 244
6	39	1958—1963	5,8	1,3	—	0,2	9	—	4	—	—	—	0,4	5,3	110
			56	16	—	149	43	—	187	—	—	—	4,0	6,8	692
			675	1126	—	—	8374	—	3652	—	—	—	127	7,8	20 905
7	47	1964—1971	11	8	—	—	383	—	35	—	—	—	1,2	5,4	1 242
			308	323	—	—	3360	—	1060	—	—	—	40,4	6,5	6 550
			703	686	—	—	6168	—	2340	—	—	—	91,5	7,8	13 098
8	25	1971	47	134	—	—	469	—	18	—	—	—	13,4	3,2	1 258
			254	400	—	—	3480	—	750	—	—	—	45,7	6,8	7 100
			710	1579	—	8364	8380	476	4970	—	—	—	194	7,6	24 479
9	10	1968	184	13	—	310	652	122	135	—	—	—	9,27	7,0	1 415
			512	935	—	2046	4462	309	2222	—	—	—	108	7,4	10 486

			174	185	Отс.	284	1417	342	401	—	0,9	30,4	24	6,8	2 442
10	14	1968	62	60	—	198	400	104	35	—	0,3	3,4	8,7	6,6	1 045
			114	106	—	244	750	239	185	—	0,6	16,3	14	6,7	1 600
			152	62	0,7	199	95	430	101	—	—	—	9	7,0	774
11	17	1966	20	6	0,2	16	25	244	14	—	—	—	1	6,4	452
			63	20	0,4	60	52	353	60	—	—	—	5	6,8	580
			295	448	11	1230	4710	600	356	60	—	28	51	6,9	7 268
Территория города	29	1969—1970	28	3	0,3	27	111	15	42	15	—	2	3	5,3	322
			174	222	2	434	1970	110	180	37	—	11	28	6,6	3 180

Северо-запад европейской части СССР

			27	6	—	27	32	104	26	—	—	—	2	8,0	284
1	19	1950—1972	4	1	—	0,2	2	12	1	—	—	—	0,3	5,8	46
			14	3	—	8	11	54	5	—	—	—	0,9	6,8	105
			162	57	0,15	93	509	360	226	—	—	—	36	7,1	818
2	15	1948—1966	6	3	0,1	0,3	2	6	3	—	—	—	1,6	5,9	29
			47	15	0,1	15	93	83	33	—	—	—	10	6,4	313

Урал, Сибирь, Казахстан

			220	26	—	44	100	238	57	—	—	—	11	8,2	545
1	14	1970—1972	16	8	—	3	19	43	11	—	—	—	1,5	6,6	146
			46	16	—	15	51	115	20	—	—	—	3,5	7,4	270
			46	31	1,4	16	48	265	27	6,0	0,09	—	4,9	7,9	339
2	13	1972	41	26	0,4	0,7	13	195	14	3,0	0,04	—	4,3	7,4	263
			44	28	0,7	8	31	223	20	4,5	0,07	—	4,5	7,6	298
			294	192	—	326	1285	1043	298	—	—	—	20	8,5	2 038
3	10	1966—1972	22	10	—	79	3	31	19	—	—	—	2	6,6	326
			83	62	—	155	251	439	110	—	—	—	9	8,0	436

* Максимальное содержание.
** Минимальное содержание.
*** Среднее содержание.

Таблица 22

Среднее содержание компонентов (мг/л) в грунтовых водах на промплощадках по географическим зонам

Географические зоны	Катионы			Анионы			Сухой остаток
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$K^{+}+Na^{+}$	SO_4^{2-}	HCO_3^{-}	Cl^{-}	
Северо-запад европейской части СССР	30	9	11	52	68	19	209
Урал	46	16	15	51	115	20	270
Сибирь	44	28	8	31	223	20	298
Казахстан	83	62	155	251	439	110	436
Центр европейской части СССР	63	20	60	52	353	60	580
Юг европейской части СССР	258	313	831	2357	228	786	4979

по химическому составу и являются слабо минерализованными. Сухой остаток изменяется от 263 до 545 мг/л. Среднее его значение несколько больше величины сухого остатка грунтовых вод промплощадок северо-запада европейской части СССР и составляет 270—298 мг/л. Тип грунтовых вод гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый. Местами грунтовые воды на промплощадках Урала обладают карбонатной агрессивностью, а в некоторых водах отмечается повышенное содержание щелочей. Общая жесткость изменяется от 1,5 до 11 мг-экв, содержание свободной углекислоты составляет 8,6—13,2 мг-экв, а концентрация ионов водорода — 6,6—8,2.

На застроенной территории Казахстана грунтовые воды характеризуются большой пестротой, среднее значение сухого остатка их равно 436 мг/л. Воды гидрокарбонатно-хлоридные магниево-натриевые, сульфатно-гидрокарбонатные натриево-магниевые и др. Местами они обладают повышенной щелочностью, так как концентрация водородных ионов в отдельных пробах воды достигает 8,5.

В центральной европейской части СССР (промплощадка № 11) средняя величина сухого остатка грунтовых вод достигает 580 мг/л, т. е. практически она увеличивается почти в три раза по сравнению с северными районами страны. Здесь грунтовые воды характеризуются гидрокарбонатным кальциево-натриевым составом, умеренной жесткостью, по отношению к бетону железобетонных конструкций не агрессивны. Концентрация в них водородных ионов варьирует от 6,4 до 7,0.

Наибольшей минерализацией и пестротой обладают грунтовые воды лёссовидных суглинков на застраиваемых территориях юга европейской части СССР. Так, на промплощадках № 4, 5, 6. 7, 8, 9 сухой остаток их колеблется от 1242 до 24 479 мг/л. Средняя его величина по всем промплощадкам равна 4979 мг/л.

Преобладающими компонентами, определяющими тип химического состава грунтовых вод, являются ионы SO_4^{2-}, $Na^{+}+K^{+}$, Cl^{-}, Mg^{2+}. По отдельным промплощадкам содержание ионов SO_4^{2-}

изменяется от 70 до 8953 мг/л, $Na^+ + K^+$ — от 32 до 8364 мг/л, Cl^- — от 20 до 4970 мг/л, Mg^{2+} — от 2 до 1579 мг/л (см. табл. 21). Второстепенными элементами здесь являются ионы CO_3^{2-}, NO_2^-, NO_3^-. Роль этих элементов ввиду малого их содержания незначительна.

Таким образом, обобщая фактический материал, приведенный в табл. 21, 22, можно констатировать, что минерализация грунтовых вод на застраиваемых территориях с севера на юг возрастает от нескольких сотен до десятков тысяч мг/л. Это объясняется тем, что с севера на юг увеличивается испарение воды с поверхности грунтовых вод и возрастает степень засоленности грунтов зоны аэрации.

На промплощадке № 7 наблюдалось изменение химического состава грунтовых вод, связанное с подъемом их уровня. Увеличение минерализации грунтовых вод происходило в результате выщелачивания водорастворимых солей сернокислого натрия, кальция, магния из более засоленных верхних, ранее сухих грунтов. Сухой остаток здесь достигает 20 905 мг/л, а содержание иона SO_4^{2-} 8374 мг/л.

По многим промплощадкам юга европейской части СССР грунтовые воды обладают сульфатной агрессией по отношению к бетону как на несульфатостойком, так и на сульфатостойком цементе. Наряду с этим на промплощадке № 8 для них характерна повышенная кислотность, а на промплощадке № 9 — общая жесткость.

Изучение изменения солевого состава грунтовых вод по сезонам года проводилось в степной зоне Украины на промплощадке № 1 и на прилегающей к ней территории жилого поселка, промплощадке № 2 и территории города [17].

Сезонные изменения в минерализации грунтовых вод на промплощадке № 1 не одинаковые. В одних наблюдательных скважинах (4, 9, 16) минерализация их от зимы к лету уменьшалась, а в других (13, 15, 35г) — увеличивалась. В течение года изменение количества солей преимущественно незначительное. Только в некоторых скважинах (13, 15) количество солей в весенне-летний период возрастало в 2—3 раза.

Грунтовые воды на промплощадке № 2 имеют более повышенную минерализацию, чем на промплощадке № 1. Но режим химического состава их на обеих промплощадках почти одинаков.

На территории города максимальная минерализация грунтовых вод прослеживалась в весенне-летний, а минимальная — в осенне-зимний периоды. Количество солей в них в весенне-летний период увеличивалось в 2—5 раз. Наиболее стабильное содержание солей наблюдалось в скв. 17, расположенной на застроенном участке города, где уровень грунтовых вод находился на глубине 5 м. Минимальная минерализация здесь отмечалась в скв. 5, которая находится на самой высокой отметке водораздельного плато.

Изменение минерализации грунтовых вод по сезонам года происходило за счет увеличения или уменьшения главным образом ионов SO_4^{2-}, $Na^+ + K^-$, Mg^{2+}. Повышение их количества обусловливается растворимостью гипса и магниевых карбонатов, содержащихся в обводненных лёссовидных суглинках.

АНАЛИЗ БАЛАНСА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В настоящее время имеются различные предложения в отношении методов и способов изучения баланса грунтовых вод [29, 62, 66, 80, 82, 88, 125]. Учитывая влияние многочисленных естественных и искусственных факторов при формировании грунтовых вод на застраиваемых территориях, для количественной оценки их баланса мы использовали гидродинамический метод, разработанный Г. Н. Каменским [62]. В его основе лежит уравнение неустановившегося движения грунтовых вод в конечных разностях. Из данного уравнения получены следующие формулы для определения по трем наблюдательным скважинам:

величины инфильтрации или испарения

$$W = \frac{\Delta H}{\Delta t}\mu - \frac{k}{\Delta x_1 + \Delta x_2}\left[(h_3 + h_2)\frac{H_3 - H_2}{\Delta x_2} - (h_2 + h_1)\frac{H_2 - H_1}{\Delta x_1}\right], \quad (12)$$

величины бокового притока

$$q_1 = \frac{k\,\Delta t}{\Delta x_1 + \Delta x_2}\left[(h_3 + h_2)\frac{H_3 - H_2}{\Delta x_2}\right], \quad (13)$$

величины бокового оттока

$$q_2 = \frac{k\,\Delta t}{\Delta x_1 + \Delta x_2}\left[(h_2 + h_1)\frac{H_2 - H_1}{\Delta x_1}\right], \quad (14)$$

где ΔH — повышение или понижение уровня грунтовых вод в средней скважине;

k — коэффициент фильтрации водоносного пласта;

μ — водоотдача (недостаток насыщения) пород;

Δx_1, Δx_2 — расстояние между скважинами;

Δt — расчетное время;

h_1, h_2, h_3 — мощности водоносного пласта в первой, второй и третьей скважинах;

H_1, H_2, H_3 — отметки уровня грунтовых вод в первой, второй и третьей скважинах.

Практическая ценность этих уравнений заключается в том, что имеются большие возможности наиболее полно учесть реальную гидрогеологическую обстановку (воздействие всех источников питания), сложившуюся в результате застройки территории.

Баланс грунтовых вод изучали на промплощадке № 1, где проводились наиболее длительные наблюдения за режимом их уровня, а также на промплощадке № 2 и территории города. Все исследуемые территории расположены в степной зоне Украины.

Баланс грунтовых вод на промплощадке № 1. Наличие многолетних режимных наблюдений за колебанием уровня грунтовых вод позволило рассмотреть их баланс на промплощадке № 1 на двух этапах, различающихся между собой разным воздействием производственной деятельности человека на формирование грунтовых вод. Первый этап характеризуется строительством на ней предприя-

тия и развитием его мощности, а второй — эксплуатацией предприятия с более или менее постоянной его мощностью.

На первом этапе оценку баланса грунтовых вод на промплощадке № 1 производили по семи расчетным профилям с 16/X 1965 г. по 16/X 1969 г., а на втором этапе — по девяти расчетным профилям с 15/XI 1970 г. по 15/XI 1971 г.

Расчетный балансовый профиль состоял из трех наблюдательных скважин, расположенных по направлению потока грунтовых вод. Расстояние между скважинами составляло от 74—100 до 500—600 м. При выборе расчетных скважин руководствовались тем, чтобы в наибольшей степени изучить влияние искусственных факторов на формирование грунтовых вод в условиях застройки территории промышленными объектами. Для расчета баланса грунтовых вод коэффициент фильтрации лёссовидных суглинков, слагающих промплощадку № 1, принимали не более 0,3 м/сут, а водоотдачу — 0,5 (по данным инженерно-геологических изысканий института ВИОГЕМ).

Баланс рассматривали за 1 год (с 15/XI 1970 г. по 15/XI 1971 г.) и более (например, с 16/X 1965 г. по 1/X 1968 г.), при этом учитывали оба приходных элемента — инфильтрацию и боковой приток и оба расходных — боковой отток и испарение.

Время наблюдения по балансовому профилю разбивали на периоды, в которые происходит равномерное повышение или понижение уровня грунтовых вод. Для каждого периода произведен расчет баланса грунтовых вод. Результаты расчета составляющих баланса приведены в табл. 23.

В период строительства на промплощадке № 1 горнорудного предприятия и развития его мощности, когда уровень грунтовых вод на ней залегал на глубине 8—11 м, годовой баланс их представлен всеми приходными и расходными элементами, из которых ведущая роль принадлежит инфильтрации. Значения ее изменяются от 23,0 до 178,6 мм/год. Наибольшей величины (120,0—178,6 мм/год) она достигла на территории расположения корпусов дробления, обогащения и подземных емкостей с технической водой.

В меньшей степени в балансе грунтовых вод составляют испарение, боковой отток и особенно боковой приток, величина которого не превышает 15,6 мм/год.

Сумма составляющих баланса грунтовых вод является в основном положительной. На балансовом участке, где расположены скв. 2449, 2458, 2455, она составляла 171,4 мм/год. В других местах промплощадки № 1 величина годового баланса не превышала 78,6 мм/год. Высокие положительные величины годового баланса, которые по ряду расчетных профилей прослеживались на протяжении нескольких лет, вызывали на отдельных участках промплощадки № 1 непрерывный подъем уровня грунтовых вод, что достаточно наглядно иллюстрирует график режимных наблюдений (см. рис. 4).

При эксплуатации на промплощадке № 1 горнорудного предприятия в составляющих баланса грунтовых вод также характерно преобладание инфильтрации. Однако по величине она уже несколько ниже, чем в период строительства, и не превышает 89,3 мм/год (скв. 16,

Таблица 23

Баланс грунтовых вод на промплощадке № 1

№ скважины	Период наблюдений	Элементы баланса, мм в год				Баланс за год, мм
		приходные		расходные		
		инфильтрация	приток	испарение	отток	
2464, 2460, 2455	16/X 1965 г.— 1/X 1968 г.	60,2	15,2	23,6	15,2	36,6
2449, 2460, 2462	16/VIII 1965 г.—16/VI 1968 г.	120,0	2,6	2,2	43,6	76,8
2449, 2464, 2460	16/VII 1966 г.— 1/XI 1968 г.	46,2	8,6	40,5	38,5	—24,2
2449, 2447, 2444	16/VII 1966 г.— 1/XI 1968 г.	70,2	9,4	16,0	25,6	38,0
2449, 2458, 2455	16/VIII 1966 г.— 1/X 1967 г.	178,6	11,1	8,1	10,2	171,4
2449, 2464, 2460	1/XI 1968 г.—16/X 1969 г.	23,0	2,6	0,7	10,6	14,3
2464, 2446, 2445	1/XI 1968 г.—16/X 1969 г.	50,2	7,06	43,7	12,7	1,4
16,1, 2444	15/XI 1970 г.—15/XI 1971 г.	43,9	15,5	27,8	42,0	—10,3
2449, 13, 2450	То же	44,6	37,4	42,7	38,7	0,6
16, 2446, 2445	» »	50,7	26,0	46,7	24,3	5,7
4, 2452, 30г	» »	19,1	16,3	30,9	7,0	—2,5
2465, 3, 11	» »	41,8	23,5	29,1	2,5	33,7
2465, 2460, 2459	» »	52,9	78,9	72,1	39,7	20,0
2465, 2460, 2459	» »	52,9	78,9	72,1	39,7	20,0
16, 22г, 2450	» »	89,3	14,6	16,5	79,1	8,3
2465, 3, 12	» »	42,6	19,7	24,1	28,4	9,8
2465, 4, 2452	» »	65,6	16,8	5,1	16,3	61,0

22г. 2450). В расходных элементах баланса на некоторых участках отмечается рост величины испарения и оттока до 72,1—79,1 мм/год, что обусловливается подъемом уровня грунтовых вод ближе к поверхности земли (до 4,5—3,5 м) и увеличением градиентов скоростей их фильтрации. Боковой приток иногда почти равен оттоку либо больше или меньше его. За расчетное время (с 15/XI 1970 г. по 15/XI 1971 г.) баланс грунтовых вод по семи профилям положительный и двум профилям отрицательный. Величина его колеблется от 0,6 до 61,0 мм/год.

Баланс грунтовых вод на промплощадке № 2. Промплощадка № 2 расположена недалеко от промплощадки № 1, поэтому их гидрогеологические условия близки. Эксплуатация построенного на промплощадке № 2 горнорудного предприятия начата с 1961 г. Непрерывные наблюдения за режимом уровня грунтовых вод проводились в течение двух лет в 1972—1974 гг. с частотой один раз в пять дней.

Расчет баланса грунтовых вод производился по семи профилям в 1972—1973 гг. и пяти профилям в 1973—1974 гг. В состав профиля входили три расчетные наблюдательные скважины. Направление

каждого профиля совпадало с уклоном грунтового потока. Расстояние между скважинами составляло 185—700 м. Коэффициент фильтрации принимали равным 0,25—0,35 м/сут, а водоотдачу не более 0,05.

Для расчета баланса были выделены два годичных цикла наблюдений: первый с 1/X 1972 г. по 1/X 1973 г. и второй — с 1/X 1973 г. по 1/X 1974 г. Каждый годичный цикл наблюдений разбивали на периоды, характеризующиеся равномерным подъемом или спадом уровня грунтовых вод. Число периодов в профиле колебалось от 5 до 8, а продолжительность периода изменялась от 16 до 120 сут. Результаты расчета элементов баланса приведены в табл. 24.

Таблица 24

Баланс грунтовых вод на промплощадке № 2

№ балансового профиля	№ скважины в балансовом профиле	Элементы баланса, мм в год				Баланс за год
		приходные		расходные		
		инфильтрация	приток	испарение	отток	
Первый цикл наблюдений						
1	7, 6, 5	16,24	12,09	5,25	8,27	—1,05
2	1, 8, 9	164,56	14,76	185,80	22,03	—28,51
3	1, 2, 3	46,44	5,91	32,14	7,19	13,02
4	18, 22, 14	56,56	22,73	41,26	28,48	9,55
5	9, 10, 12	30,40	14,47	36,29	7,48	1,10
6	18, 11, 15	38,01	33,76	48,87	10,34	12,56
7	17, 16, 12	67,26	18,94	20,40	7,87	57,93
Второй цикл наблюдений						
1	7, 6, 5	13,84	11,60	13,12	7,80	3,52
2	1, 8, 9	—	23,62	44,27	4,56	—25,21
3	1, 2, 3	28,52	6,38	21,43	7,57	5,90
4	18, 22, 14	8,65	23,65	2,35	29,88	0,07
5	18, 11, 15	23,01	37,84	31,15	24,29	5,41

Расчеты показали, что годовой баланс грунтовых вод на промплощадке № 2 (вместе с утечками) представлен инфильтрацией, испарением, боковым притоком и оттоком.

При первом годичном цикле наблюдений (с 1/X 1972 г. по 1/X 1973 г.) наиболее длительное время инфильтрация воды происходила в зимне-весенний период на балансовых профилях № 1, 4, 7, где расположены корпус обогащения, обжига, окомкования, склады окатышей. Здесь ее величина изменялась от 0,1 до 1,67 мм/сут. На балансовом профиле № 2, охватывающем территорию фабрики окомкования, инфильтрация наблюдалась непродолжительное время (34 сут), но ее величина достигла 4,84 мм/сут, что связано с аварийными утечками воды из размещенных здесь водоводов.

В результате повышения испарения воды в летнее время наблюдалось уменьшение инфильтрации. На некоторых участках составляющие баланса характеризуются превышением испарения над инфильтрацией и притока над оттоком.

По большинству расчетных профилей баланс за год положительный. Величина его колеблется в основном от 1,10 до 13,02 мм. И только по расчетному профилю № 7 он равен 57,93 мм.

Во втором годичном цикле наблюдений (с 1/X 1973 г. по 1/X 1974 г.) инфильтрация по-прежнему происходила главным образом в зимне-весенний период, но по величине и продолжительности она была меньше, чем в период первого цикла наблюдений. Так, на первом балансовом профиле величина инфильтрации составляла 0,02—0,1 мм/сут, третьем — 0,03—0,75 мм/сут, четвертом — 0,1—0,25 мм/сут и шестом — 0,2 мм/сут. В меньшем количестве наблюдались также испарение, приток и отток. Баланс за год по четырем балансовым профилям (№ 1, 3, 4, 6) положительный и одному балансовому профилю № 2 — отрицательный. Величина его от 0,07 до 25 мм.

Анализ режима и баланса грунтовых вод за 1972—1974 гг. свидетельствует о том, что на большей части территории промплощадки № 2 наступила стабилизация в положении уровня грунтовых вод. Наблюдавшиеся в нем изменения связаны с сезонными колебаниями.

Баланс грунтовых вод на территории города. Территория города, где располагались расчетные балансовые профили, характеризуется довольно ровной поверхностью, близким залеганием водоупора (4—6 м) и малой глубиной уровня грунтовых вод (до 2—3,5 м в весенний период).

Расчет баланса грунтовых вод производили по шести профилям за год с 18/IX 1969 г. по 18/IX 1970 г. и с 28/IX 1969 г. по 28/IX 1970 г. Профиль состоял из трех скважин и располагался по напра-

Таблица 25

Баланс грунтовых вод на территории города

№ скважины	Период наблюдений	Элементы баланса, мм в год				Баланс за год, мм
		приходные		расходные		
		инфильтрация	приток	испарение	отток	
5, 12, 13	18/IX 1969 г.—18/IX 1970 г.	52,2	9,5	44,6	10,4	6,7
5, 16, 17	18/IX 1969 г.—18/IX 1970 г.	54,5	7,7	52,2	13,6	3,6
5, 225, 235	28/IX 1969 г.—28/IX 1970 г.	93,6	7,5	70,0	19,5	11,6
5, 260, 15	18/IX 1969 г.—18/IX 1970 г.	170,9	26,2	77,7	17,4	102,0
6, 7, 8	18/IX 1969 г.—18/IX 1970 г.	94,2	31,9	84,9	25,2	16,0
9, 10, 11	18/IX 1969 г.—18/IX 1970 г.	205,2	28,4	64,5	29,3	140,0

влению потока грунтовых вод. Расстояние между скважинами колебалось от 57,5 до 720,0 м.

В течение года в балансовых профилях выделено по 13—17 периодов, характеризуемых подъемом или спадом с более или менее одинаковой интенсивностью. Продолжительность периода изменялась от 5 до 62 сут. Величина подъема уровня грунтовых вод за один период не превышала 1,04 м, а спада — 0,77 м. При расчете баланса коэффициент фильтрации лёссовидных суглинков принимали от 0,25 до 0,8 м/сут (по данным наливов в наблюдательные скважины). Расчетные данные баланса сведены в табл. 25.

Из рассмотрения данных табл. 25 следует, что ведущая роль в балансе грунтовых вод на территории города принадлежит инфильтрации и испарению, причем преобладает инфильтрация. Ее величина составляла 52,2—94,2 мм/год, а на одном балансовом профиле (скв. 5, 260, 15) она достигла 170,9 мм/год. Высокая величина инфильтрации обусловлена наличием на территории города почти бессточных участков, где происходит усиленное питание грунтовых вод атмосферными и талыми водами. Боковой приток и отток здесь играют незначительную роль в формировании грунтовых вод.

ГЛАВА IV

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

При проектировании зданий и сооружений на слабопроницаемых грунтах прогноз повышения уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях в настоящее время, как правило, не дается. Между тем, как указано выше, случаи подтопления населенных пунктов и промплощадок во многих отраслях народного хозяйства в нашей стране непрерывно возрастают, создавая ненормальные условия эксплуатации зданий и сооружений.

Для прогноза подтопления застраиваемых территорий можно применять методы аналогии, гидродинамический и математического моделирования на аналоговых и электронно-вычислительных машинах (АВМ и ЭЦВМ). Выбор метода прогноза зависит от особенностей геологического строения застраиваемой территории, сложности ее гидрогеологических условий и их изученности и требуемой точности решения поставленной задачи.

На основе прогноза в проектах нового строительства или расширения действующих предприятий должны быть своевременно предусмотрены меры, предотвращающие подтопление зданий и сооружений.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД МЕТОДОМ АНАЛОГИИ

Этот метод с давних пор используется в практике гидрогеологических исследований и до настоящего времени не потерял своего научного и практического значения. Поэтому для прогноза подтопления застраиваемых территорий он также найдет применение.

Опыт показывает, что на застраиваемых территориях трудно учесть заранее потери производственно-хозяйственных вод и образование других источников обводненности грунтов. В связи с этим данные о подобных явлениях на территориях действующих предприятий и городов должны широко использоваться для прогноза изменения гидрогеологических условий вновь осваиваемых территорий.

Необходимость разработки методов прогноза, использующих аналогию на застраиваемых территориях, связана еще и с тем, что для применения других методов прогноза в данных условиях возникают трудности. Они заключаются в том, что основные параметры (инфильтрация воды, водопроницаемость пород, недостаток насыщения), определяющие процесс подъема уровня грунтовых вод на вновь застраиваемой территории, являются величинами неизвестными. Для их определения требуется проведение гидрогеологических исследований.

Во всех случаях в основу методов аналогии должны быть положены глубокие знания природных условий застраиваемых территорий и изменения их под влиянием инженерно-строительной и хозяйственной деятельности человека.

Изучение и анализ большого количества обводненных промплощадок дали возможность автору разработать их типизацию по условиям подтопления, приведенную в главе II, которую можно использовать для приближенных прогнозов повышения уровня грунтовых вод на вновь застраиваемых территориях.

Предлагаемая для прогноза типизация охватывает многочисленные климатические зоны страны и содержит факторы, определяющие интенсивность подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях.

Так, зная геолого-гидрогеологические и геоморфологические условия территории, подлежащей застройке, а также расход воды предприятиями на 1 га площади, которое намечается здесь построить, с помощью данной типизации можно определить, будет ли подъем уровня грунтовых вод на данной территории, до какой минимальной глубины он поднимается. Вместе с тем, пользуясь данной типизацией, можно определить величину питания грунтовых вод будущего водоносного горизонта.

Для прогноза типов режима грунтовых вод на участках, различных по геолого-гидрогеологическим условиям и характеру будущей застройки, можно применять классификацию режима грунтовых вод, приведенную в главе III. С помощью данной классификации можно определять на вновь осваиваемой территории вид инфильтрационного питания грунтовых вод, его интенсивность и длительность, направленность режима грунтовых вод и скорость подъема их уровня.

Прогноз режима грунтовых вод на осваеваемой территории путем использования рекомендуемых методов аналогии имеет большое преимущество по сравнению со всеми известными методами, так как не требует массовых определений величин инфильтрационного питания грунтовых вод и других параметров. Наиболее удовлетворительные результаты он дает в том случае, если район, для которого составляется прогноз, достаточно хорошо изучен в геологическом и гидрогеологическом отношении.

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Гидродинамический метод прогноза подтопления застраиваемой территории применим для относительно простых гидрогеологических условий: небольшая по размеру площадь с однородной средой, строгие геометрические очертания границ водоносного пласта, постоянная величина его питания и т. д. В более сложных случаях приближенное аналитическое решение прогноза достигается на основе схематизации природных гидрогеологических условий.

Гидрогеологические параметры пласта (мощность, водопроницаемость, недостаток насыщения грунта в зоне аэрации), необходимые

для составления прогноза подтопления застраиваемых территорий, устанавливаются при проведении на них гидрогеологических изысканий. Величины инфильтрационного питания грунтовых вод в первом приближении можно взять или из табл. 15, или из табл. 26.

Приведенные в табл. 26 величины инфильтрации получены автором [16] на основании обработки данных режимных наблюдений на застроенных территориях г. Кривого Рога и характерны для грунтовых условий юга и юго-востока Украины.

Таблица 26

Величина инфильтрации на застраиваемых территориях

Застраиваемые территории	Инфильтрация, м/сут
Городская селитебная	$(1{,}8—5)\cdot10^{-4}$
Цементных заводов	$(3—6)\cdot10^{-4}$
Коксохимических заводов	$(5—8)\cdot10^{-4}$
Горнообогатительных комбинатов	$(4—7{,}5)\cdot10^{-4}$

Для прогноза повышения уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях существует ряд расчетных схем (табл. 27), которые учитывают форму, размеры участка инфильтрации и условия дренирования. В приведенных расчетных формулах приняты следующие условные обозначения:

W — инфильтрация после возникновения источника обводнения;
W — то же, в бытовых условиях;
H, h — повышение уровня грунтовых вод за время t от начала инфильтрации;
h_0 — то же, перед началом инфильтрации;
h_e, $h_e(x)$ — первоначальная глубина грунтового потока;
$h_{ср}$ — средняя мощность водоносного пласта;
q — расход воды, растекающейся от источника в одну сторону;
k — коэффициент фильтрации;
μ — недостаток насыщения;
a — коэффициент уровнепроводности ($a = kh_{ср}\mu$);
b — ширина полосы инфильтрации;
t — время от начала инфильтрации;
r_0 — радиус круга, на котором происходит инфильтрация;
r — радиальная координата;
R_0 — приведенный радиус круга, где происходит инфильтрация интенсивностью W;
T — водопроводимость пласта ($T = kh_{ср}$).

Помимо этого, обозначения некоторых величин даются ниже при описании условий применения рекомендуемых расчетных формул.

Если ширина полосы усиленной инфильтрации невелика, то такой источник инфильтрации может рассматриваться в плане как линия. Для такого случая задача имеет решение в теории теплопроводности [87]. Если пользоваться гидрогеологическими обозначениями, то при большой мощности водоносного горизонта повышение уровня грунтовых вод (H) под линейным в плане источником инфильтрации выражается формулой [28]

$$H = 2q\sqrt{\frac{t}{\pi\mu k h_{ср}}}. \qquad (15)$$

Среднюю мощность $h_{ср}$ можно выразить следующим образом:

$$h_{ср} = h_0 + \alpha H, \qquad (16)$$

где $h_{ср}$ — мощность водоносного пласта перед началом инфильтрации ($t = 0$);

α — некоторый коэффициент, учитывающий увеличение средней мощности под влиянием повышения уровня грунтовых вод при инфильтрации, равный 0,5.

Когда мощность водоносного горизонта до возникновения инфильтрации равна нулю ($h_0 = 0$) и при инфильтрации происходит растекание по водоупору, то в этом случае

$$H = 2\sqrt[3]{\frac{q^2 t}{\pi \mu k}}. \qquad (17)$$

При значительной ширине полосы усиленной инфильтрации (см. табл. 27, схему № 1) подъем уровня грунтовых вод в центре полосы и на ее границе можно определять по формулам, предложенным Н. Н. Веригиным [28]. Входящий в формулы коэффициент λ вычисляется по формуле

$$\lambda = \frac{b}{2\sqrt{at}}. \qquad (18)$$

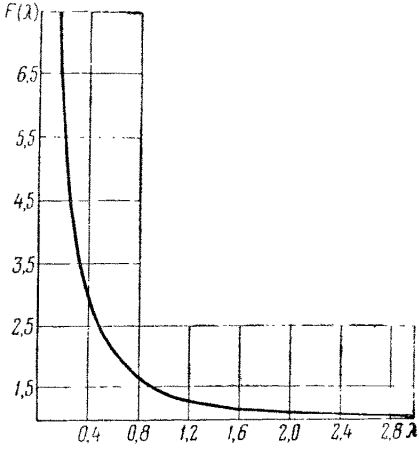


Рис. 52. График зависимости $F(\lambda)$ от λ

Значение $F(\lambda)$ определяется по графику на рис. 52.

На участке усиленной инфильтрации, представляющем собой форму круга небольшого диаметра (см. табл. 27, схему № 2, например, утечки из градирни и т. д.), повышение уровня воды в центре круга мало отличается от повышения на его контуре. Для таких условий повышение уровня грунтовых вод выражается формулой, известной из теории теплопроводности [87], имеющей для безнапорного потока вид, изображенный в табл. 27.

Если диаметр круга, в пределах которого происходит усиленная инфильтрация, имеет большие размеры (см. табл. 27, схему № 3), то повышение уровня грунтовых вод в центре круга будет больше, чем на его контуре. Эта задача может решаться по формуле, предложенной В. Е. Аншиловым, В. М. Чуйко [16]. Входящие в формулу параметры F_0 и $\bar{r}$ равны:

$$F_0 = \frac{at}{R_0^2}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_0}.$$

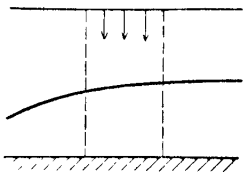
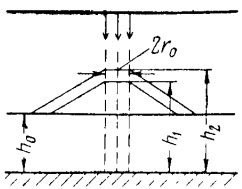
Так как площадь застройки имеет обычно сложную формулу, то приведенный радиус

$$R_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}},$$

где F — площадь, намеченная для застройки.

Таблица 27

Расчетные формулы для прогноза повышения уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях

№ схемы	Область инфильтрации	Условия дренирования	Расчетная схема	Расчетная формула	Источник
1	Полоса большой ширины	Неограниченный водоносный пласт		В центре полосы инфильтрации $h^2 = h_0^2 + \frac{W}{k_0} b^2 [F(\lambda) - 1]$ На границе полосы инфильтрации $h^2 = h_0^2 + \frac{2W}{k_0} b^2 [F(\lambda) - 1]$	Н. Н. Биндеман [28]
2	Круг малого диаметра			$h^2 - h_0^2 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{2{,}25at}{r_0^2}$	А. В. Лыков [87] Н. Н. Биндеман [28]

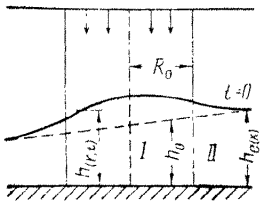
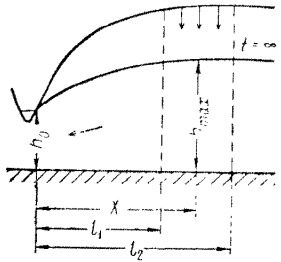
3	Круг большого диаметра	Неограниченный водоносный пласт		$h_{1,2}(r,\ t)=h_e(x)+\frac{WR_0^2}{T}R(\bar{r}, F_0)$	В. Е. Аннилов, В. М. Чуйко [16]
4	Полоса большой ширины	Ограниченный водоносный пласт		$h^2_{max}=h^2_0-\frac{W}{k}x^2+2x\times$ $\times\left(\frac{q_0}{k}+\frac{W-W_0}{k}l_2\right)-$ $-\frac{W-W_0}{k}l_1^2$	Н. Н. Веригин [36]

Таблица 28

Значения функции $R(\bar{r}, F_0)$

F_0	R при $\bar{r}$								
	0	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	3	5
0,082	0,081	0,080	0,077	0,069	0,012	0,000	0,000	0	0
0,135	0,129	0,125	0,117	0,102	0,041	0,05	0,001	0	0
0,233	0,195	0,188	0,174	0,149	0,082	0,015	0,002	0	0
0,368	0,278	0,267	0,246	0,213	0,136	0,040	0,01	0,000	0
0,607	0,376	0,361	0,334	0,293	0,203	0,081	0,029	0,003	0
1,000	0,482	0,465	0,434	0,386	0,285	0,140	0,066	0,012	0,000
1,649	0,596	0,577	0,542	0,491	0,380	0,216	0,122	0,0355	0,002
2,718	0,713	0,693	0,657	0,602	0,485	0,308	0,198	0,0787	0,009
4,482	0,847	0,813	0,775	0,719	0,598	0,411	0,289	0,144	0,030
7,389	0,957	0,935	0,897	0,839	0,715	0,529	0,393	0,227	0,074
12,183	1,080	1,058	1,019	0,960	0,835	0,639	0,504	0,325	0,139
20,086	1,204	1,181	1,142	1,083	0,958	0,759	0,621	0,433	0,222
33,115	1,329	1,307	1,267	1,208	1,082	0,881	0,741	0,547	0,317
54,598	1,454	1,431	1,391	1,332	1,203	1,001	0,860	0,663	0,425
90,017	1,578	1,557	1,516	1,456	1,326	1,125	0,982	0,783	0,538
148,413	1,703	1,680	1,640	1,581	1,451	1,250	1,105	0,905	0,656
244,69	1,828	1,805	1,765	1,705	1,583	1,386	1,237	1,036	0,773
403,43	1,960	1,930	1,890	1,850	1,703	1,500	1,355	1,152	0,894
665,14	2,077	2,055	2,015	1,955	1,827	1,625	1,400	1,280	1,020
1196,7	2,202	2,180	2,140	2,080	1,952	1,750	1,601	1,409	1,146
1808	2,324	2,305	2,265	2,205	2,075	1,876	1,736	1,529	1,265
2981	2,452	2,430	3,390	2,330	2,203	1,999	1,856	1,653	1,398

Функция $R(\bar{r}, F_0)$ определяется по табл. 28. Первоначальную глубину грунтового потока $h_e(x)$ обычно устанавливают по карте гидроизогипс.

Для участка инфильтрации, имеющей форму полосы, вытянутой вдоль реки (см. табл. 27, схему № 4), решение задачи прогноза подъема уровня воды дано Н. Н. Веригиным [36]. Расход воды q_0, поступающей в реку, определяется из выражения

$$q_0 = \frac{k\left(h_e^2 - h_0^2\right)}{2x} + \frac{W_0 x}{2}, \qquad (19)$$

где h_e — глубина потока до усиления инфильтрации на расстоянии x от берега реки.

Остальные обозначения ясны из приведенной схемы № 4 табл. 27.

Кроме рассмотренных выше расчетных формул В. К. Рудаковым разработана система расчетных формул, приведенных в табличной форме в работе [91], которые можно использовать для прогноза изменения во времени и по площади уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях. В качестве расчетных схем геометрической формы участка инфильтрации приняты: прямоугольник, квадрат, полуполоса, полоса и полуплоскость. При этом рассмотрены следующие схемы водоносных пластов: неограниченный, полуогра-

ниченный, квадрат, полоса, полуполоса, прямоугольник. Для удобства выполнения расчетов прилагаются подробные таблицы специальных функций, входящих в полученные расчетные зависимости.

Ниже показана возможность применения одной из рекомендуемых формул для практических расчетов на примере прогноза повышения уровня грунтовых вод на промплощадке № 1.

Пример расчета. Установлено, что в пределах расчетной площади промплощадки № 1 уровень грунтовых вод повышался непрерывно с 10/XII 1964 г. по 16/V 1967 г. Это свидетельствует о наличии постоянных источников питания грунтовых вод. Указанный период с постоянным инфильтрационным питанием был принят при расчете повышения уровня грунтовых вод.

По данным инженерно-геологических изысканий коэффициент фильтрации лёссовидных суглинков на этом участке равен $k = 1.0$ м/сут, а недостаток насыщения $\mu = 0{,}05$. Величина инфильтрационного питания грунтовых вод определена гидродинамическим методом по результатам режимных наблюдений за уровнем грунтовых вод. Расчет произведен для трех скважин (2459, 2460 и 2465), расположенных на участке по направлению потока грунтовых вод. Величина инфильтрации W получилась равной 0,0005 м/сут.

Для прогноза повышения уровня грунтовых вод применим формулу В. Е. Аннилова и В. М. Чуйко [16]. Для этого можно использовать следующие данные: превышение уровня грунтовых вод над водоупором (первоначальная мощность потока) 10/XII 1964 г. в скв. 2465 составляло 1,5 м и скв. 2460—1,75 м. На основе расчета можно определить положение уровня воды в этих скважинах по состоянию на 16/XII 1965 г., 1/VI 1966 г. и 16/V 1967., т. е. соответственно через t, равное 370, 504 и 854 сут.

За центр круга, на площади которого происходит инфильтрация, принята скв. 2465.

С учетом данных о фактическом подъеме уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 радиус круга R_0 определяем по способу последовательных приближений из уравнения

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{R\left(\bar{r}, \frac{at_2}{R_0^2}\right)}{R\left(\bar{r}, \frac{at_1}{R_0^2}\right)}, \qquad (20)$$

где h_2 — фактический подъем уровня воды через t_2;

h_1 — то же, через t_1.

Средний радиус круга получается равным 170 м, а средняя мощность потока принимается равной первоначальной. Приводимость пласта для центра круга при $t = 370$ сут $T = kh_{ср} = 1{,}0 \cdot 1{,}5 = 1{,}5$ м²/сут.

Уровнепроводность $a = T/\mu = 1{,}5/0{,}05 = 30$ м²/сут.

Текущая координата r равна нулю, следовательно, $\bar{r} = 0$, $W = 0{,}0005$ м/сут; $F_0 = at/R_0^2 = (30 \cdot 370)/28\,900 = 0{,}38$.

Путем интерполяции по табл. 28 находим величину $R = 0{,}31$ при $\bar{r} = 0$ и $F_0 = 0{,}38$.

Поставляя все исходные данные в формулу В. Е. Анпилова и В. М. Чуйко, находим $h = 1{,}5 + (0{,}0005 \cdot 28\,900)/1{,}5 \cdot 0{,}31 = 4{,}3$ м.

Повышение уровня воды $\Delta h = 4{,}3 - 1{,}5 = 2{,}8$ м.

Для скв. 2460, расположенной на расстоянии $r = 90$ м, при $T = 1{,}75$ м²/сут, $a = 35$ м²/сут, $r = 90/170 = 0{,}53$, $F_0 = 0{,}45$, $R = 0{,}26$, $h = 1{,}75 + 0{,}0005 \cdot 28\,900)/1{,}75 \cdot 0{,}26 = 3{,}9$ м; $\Delta h = 2{,}15$ м.

Аналогично определяем положение уровня воды в скв. 2465 и 2460 через t, равное 504 и 854 сут.

Результаты расчетов, приведенные в табл. 29, указывают на то, что расчетные данные мало отличаются от фактических.

Таблица 29

Расчетные и фактические данные повышения уровня грунтовых вод

№ скважины	Расстояние скважины от центра круга r, м	Расчетный интервал времени t, сут	Повышение уровня воды Δh, м	
			расчетное	фактическое
2465	0	370	2,8	2,7
		504	4,8	4,6
		854	6,6	6,8
2460	90	370	2,15	2,35
		504	3,90	3,75
		854	5,75	5,95

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аналоговое моделирование открывает широкие возможности для научных прогнозов подъема уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях. Оно позволяет с достаточной полнотой учесть сложные контуры внешних и внутренних границ водоносного горизонта, неоднородность его фильтрационных свойств и колебания мощности, многообразие условий питания и разгрузки грунтовых вод, включая их изменение во времени, обосновать путем решения обратных и инверсных задач правильность выбранной расчетной схемы, обеспечивающей достаточную точность выполнения инженерных расчетов.

Для решения задач прогноза режима грунтовых вод на застраиваемых территориях можно использовать выпускаемые отечественной промышленностью различные моделирующие устройства. К ним относятся электроинтегратор ЭГДА-9/60 [33], электроинтегратор нестационарных процессов ЭИНП-3/66 [116], электроинтегратор ЭИ-12, блочный универсальный сеточный электроинтегратор БУСЭ, статический интегратор СЭИ-3 [59], универсальная сеточная мо-

дель УСМ-1 [95] и гидравлический интегратор ИГЛ В. С. Лукьянова [35].

Методы аналогового моделирования фильтрационных задач, в том числе и составления прогноза с применением указанных выше устройств, приведены в рекомендациях института ПНИИИС по применению современных математических методов к решению гидрогеологических задач при инженерных изысканиях [103]. В них дана методика схематизации природных условий, составления расчетных схем и фрагментирования, расчета и изготовления моделей и описана общая последовательность моделирования.

Ниже приводится пример составления прогноза подъема уровня грунтовых вод на промплощадке № 1 с применением универсальной сеточной модели УСМ-1.

Пример. Исследуемая на модели площадь промплощадки № 1 равна 2 918 400 м². Всю площадь разделили на расчетные блоки. Площадь 1 331 200 м², где расположены основные промышленные сооружения, разделили на 104 расчетных блока размером 80 × × 160 м. Остальную отображаемую на модели площадь разделили на 88 расчетных блоков. Таким образом, вся сетка модели насчитывала 192 расчетных блока. Расчет параметров сетки модели и решение задачи осуществляли по схеме Либмана [130]. Внешние границы моделирующей области рассматривали как непроницаемые. В качестве внутренних граничных условий принимали количества воды, поступавшие в расчетные блоки за счет инфильтрации и отражавшиеся на модели соответствующими токами, которые подавали в узлы сетки.

При моделировании величина инфильтрации задавалась на участке промплощадки, где располагались основные здания и промышленные сооружения, т. е. в местах наиболее интенсивного питания грунтовых вод. От шага к шагу она уменьшалась в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод по закону прямой линии, полученному при решении обратной задачи [18]. В качестве начальных условий принимали уровни H_i грунтовых вод в расчетных блоках на май 1971 г. Эти уровни отображали на модели как напряжения, поданные на концы R_i-сопротивлений соответствующих узлов сетки модели в начале первого шага решения. Плоскость сравнения располагали на абсолютной отметке 101 м. В качестве максимального уровня (H_{max}) в задаче принимали уровень на абсолютной отметке 161 м. Таким образом, диапазон изменения уровней в данной задаче $\Delta H = 60$ м. Время решения задачи прогноза подтопления принимали равным 6 годам. Надо сказать, что точность решения рассматриваемой задачи по методу Либмана будет возрастать с увеличением расчетных интервалов. Для приближенного прогноза указанное время было разбито на два одинаковых временных шага $\Delta t = 3$ года. На модели использовали следующие масштабы для подобных величин натуры и модели:

масштаб напряжения

$$\alpha_U = \frac{U}{\Delta H} = \frac{10}{60} = 0{,}1667 \ \frac{\text{В}}{\text{м}}, \qquad (21)$$

масштаб тока

$$\alpha_y = \frac{86\,400 \cdot I_{D\,\max}}{W_{\max} \cdot S_{б\,\max}} = 8{,}0357\ \frac{А \cdot с}{м^3}, \tag{22}$$

где U — напряжение источника напряжений, $В$;
$I_{D\max}$ — максимальный ток источника тока, А;
$W_{\max}$ — максимальная инфильтрация, м/сут;
$S\delta_{\max}$ — максимальная площадь расчетного блока, м^2.

Масштаб сопротивлений

$$\alpha_R = \frac{\alpha_U}{\alpha_I} = 0{,}02074\ \frac{Вм^2}{Ас}. \tag{23}$$

Параметры модели рассчитывали по формулам:

$$R_x = \frac{2\alpha_R \cdot \Delta x \cdot 86\,400}{km\,(\Delta y_3 + \Delta y_4)}, \tag{24}$$

$$R_y = \frac{2\alpha_R \cdot \Delta y \cdot 86\,400}{km\,(\Delta x_1 + \Delta x_2)}, \tag{25}$$

$$R_t = \frac{4\alpha_R \cdot \Delta t \cdot 86\,400}{\mu\,(\Delta x_1 + \Delta x_2)\,(\Delta y_3 + \Delta y_4)}, \tag{26}$$

$$I\% = \frac{100\alpha_y W\,(\Delta x_1 + \Delta x_2)\,(\Delta y_3 + \Delta y_4)}{4 \cdot 86\,400 \cdot I_{D\,\max}}, \tag{27}$$

$$U_i\% = \frac{H_i - H_0}{\Delta H} \cdot 100 = 1{,}6667\,(H_i - H_0), \tag{28}$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сут;
m — мощность водоносного пласта, м;
μ — коэффициент водоотдачи;
Δt — шаг во времени, сут;
W — инфильтрация, м/сут;
R_x, R_y, R_t, $I\%$, $U\%$ — соответственно сопротивления, ток и напряжение на модели.

Пересчет напряжений на модели U % в уровни натуры осуществляли по формуле

$$H_i = H_0 + \frac{U_i\%}{1{,}67}. \tag{29}$$

Решение задачи проводили по операциям в соответствии с разбивкой процесса по шагам во времени.

1-й шаг решения: на концы R_t-сопротивлений задавали начальные условия $U_{i,\,n}$, а в узлы сетки — токи $I\%$ (аналог инфильтрации); во всех узлах сетки замеряли значения напряжений $U_{i,\,1}$.

2-й шаг решения: на концы R_t-сопротивлений задавали замеренные на предыдущем шаге значения напряжений $U_{i,1}$; в узлах сетки оставляли прежние или задавали скорректированные сопротивления R_i и токи $I\%$; во всех узлах сетки замеряли новые значения напряжений $U_{i,\,2}$.

Последний замер во всех узлах сетки значений напряжений $U_{i,n}$, переведенных в соответствующие значения уровней $H_{i,n}$, и являлся концом решения задачи.

Результаты моделирования свидетельствуют, что на промплощадке № 1 уровень грунтовых вод в 1977 г. повысится на отдельных ее участках до 2 м. Средняя глубина залегания их уровня в пределах промплощадки № 1 уменьшится от 5,8 м в 1971 г. до 4,4 м в 1977 г., что приведет к увеличению степени подтопления фундаментов и подвальных помещений зданий.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЗАЩИТНЫХ ДРЕНАЖЕЙ

При проектировании дренажа, предназначаемого для защиты от подтопления инженерного сооружения, важно оценить расчетом при определенной глубине заложения дрены предельное расстояние до линии дренажа, при котором будет обеспечено необходимое понижение уровня грунтовых вод на защищаемом участке. Помимо этого, рассчитывается приток (расход) воды к дренажу, подлежащей отводу.

Как показано выше, питание грунтовых вод на застраиваемых территориях осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек производственно-хозяйственных вод. Однако дать количественную оценку каждому из этих источников не всегда возможно. Поэтому в приведенных в этой главе формулах для расчета защитных дренажей величина питания грунтовых вод на застроенных территориях выражается через обобщенный показатель модуля питания W, отражающий как инфильтрацию, так и потери производственно-хозяйственных вод.

РАСЧЕТ ОДНО- И ДВУХЛИНЕЙНОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Схема к расчету однолинейного горизонтального дренажа значительной длины показана на рис. 53, на котором ввиду симметрии потока грунтовых вод по отношению к вертикальной плоскости, проходящей через середину водоотводной трубы, изображена только правая половина области фильтрации.

Область фильтрации здесь удобно разделить на две зоны: зону I, находящуюся под дном траншеи, в которую укладываются фильтрующая обсыпка и водоотводная труба ($0 < x < b$) и где деформация потока в связи с несовершенством дренажа особенно существенна; зону II, охватывающую всю остальную область движения.

Понижение уровня грунтовых вод в зоне II определяется по формуле

$$S_2 = S_0 [\operatorname{erfc} z - e^{(2z+\beta)\beta} \cdot \operatorname{erfc}(z+\beta)] - \frac{Wt}{\mu}(1 - 4I^2 \operatorname{erfc} z) =$$

$$= S_0 R_1(z, \beta) - \frac{Wt}{\mu} R_2(z), \qquad (30)$$

$$z = \frac{x-b}{2\sqrt{at}}, \quad \beta = \lambda\sqrt{at},$$

$$\lambda = \alpha \operatorname{th} \alpha b, \quad \alpha = \frac{1}{m};$$

где a — уровнепроводность, $a = T/\mu$;
T — проводимость пласта, $T = kh_{ср}$;
k — коэффициент фильтрации грунтов;
$h_{ср}$ — средняя глубина потока, которая определяется как среднее значение между глубинами потока на линии дренажа на начальный и расчетный моменты времени;
μ — водоотдача грунта;
t — время;
S — понижение уровня воды в безнапорном потоке на время t на расстоянии x от середины дрены, $S = h_e - h\ (x, t)$;

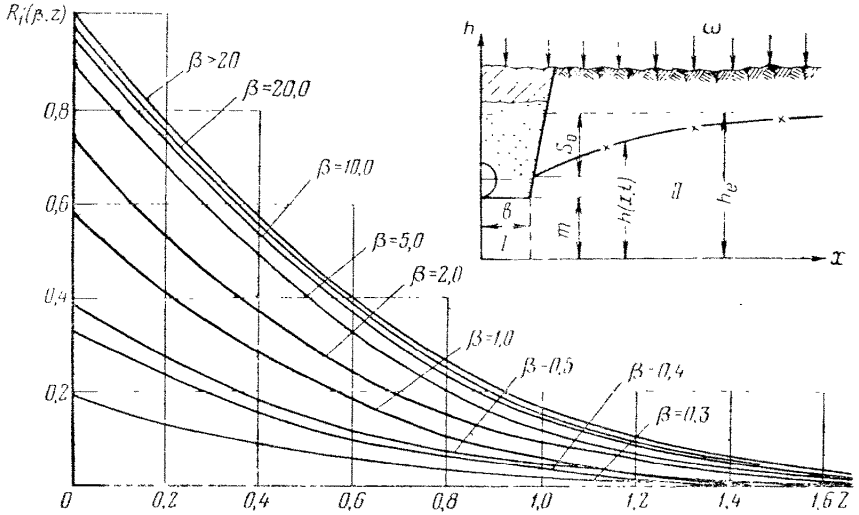


Рис. 53. График функции R_1 (β, z) и схема к расчету горизонтального дренажа

h_e и h — соответственно глубина потока грунтовых вод при $t = 0$ и в процессе его дренирования при $t > 0$.

Функции R_1 и R_2 представлены графиками на рис. 53 и 54. Расход, поступающий к горизонтальной дрене с одной стороны на 1 м ее длины, определим из соотношения

$$q_0 = -T \frac{\partial S_x}{\partial x}\Big|_{x=b} = T\left[S_0 \lambda R_3(\beta) + 1{,}13 \frac{Wt}{\mu \sqrt{at}}\right], \qquad (31)$$

где $R_3(\beta) = \exp[\beta^2] \operatorname{erfc} \beta$.

Полный расход (с двух сторон) горизонтальной дрены будет

$$Q = 2q_0 l, \qquad (32)$$

где l — длина дрены.

Функция R_3 представлена графиком на рис. 55.

Расчет двухлинейного горизонтального дренажа значительной протяженности (см. рис. 54) аналитическими методами, строго говоря, возможен только для случая, когда водоотводные трубы в дренах уложены на одной и той же отметке (уровне), т. е. когда $S_{01} =$

$= S_{02}$. Однако, имея в виду приближенность гидрогеологических расчетов, приведенные ниже рекомендации по расчету двухлинейного дренажа можно применять на практике и при некотором отступлении от этого правила. Тогда понижение уровня в потоке

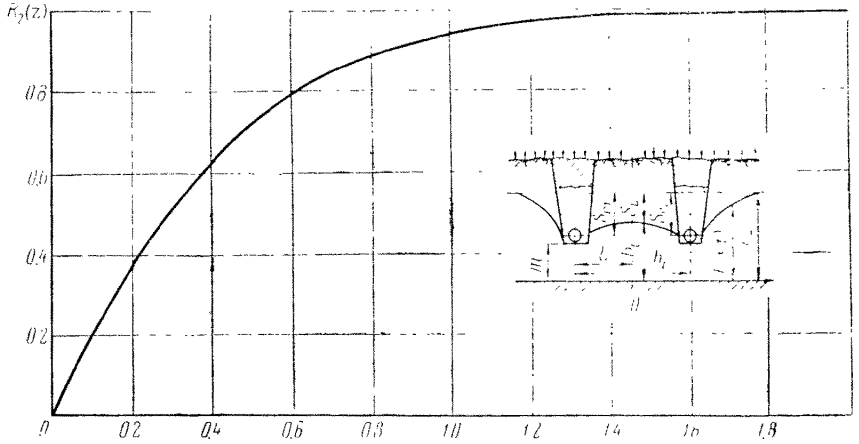


Рис. 54. График функции $R_2(z)$ и схема к расчету двухлинейного дренажа

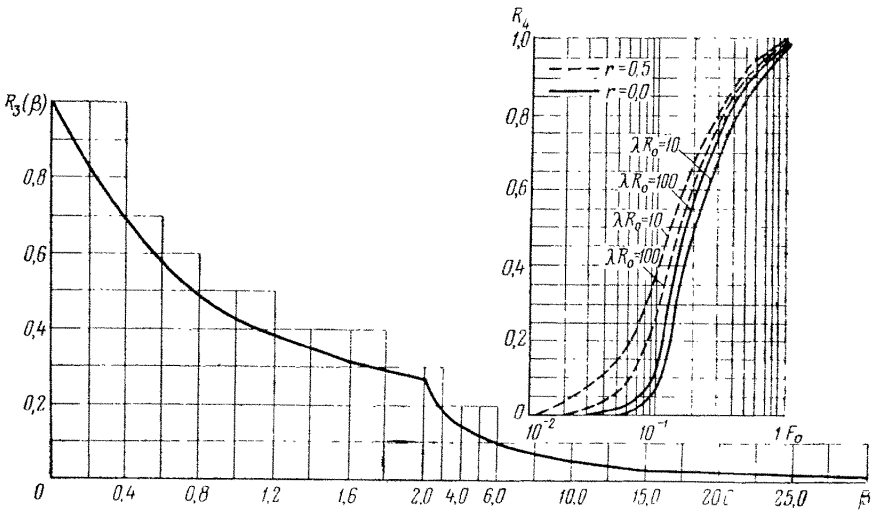


Рис. 55. Графики функций $R_3(\beta)$ и $R_4(F_0, \bar{r}, \lambda R_0)$

грунтовых вод с внешней стороны дрен определяется по формуле (30), совмещая начало координат с осью водоотводных труб, а между трубами — по той же формуле (30), применяя метод сложения течений от действия одной и другой дрен. Так, понижение уровня посредине между дренами S_L (при $x = L$) определяется по формуле

$$S_L(t) = 2S_0 R_1(z_L, \beta) - \frac{2Wt}{\mu} R_2(z_L). \qquad (33)$$

где $Z_i = (L - b)/2\sqrt{at}$ (L — половина расстояния между дренами).

Расход к дренам с внешней стороны определяется по формулам (31) и (32), а с внутренней стороны к каждой из них, применяя метод последовательной схемы стационарных состояний, приближенно по формуле

$$q = T\frac{S_0 - S_L(t)}{L}. \qquad (34)$$

Здесь $S_L(t)$ определяется по формуле (33). При более сложном плановом и высотном размещении горизонтального дренажа на дренируемой территории его расчет необходимо производить методом моделирования [127]. При этом появляется возможность величину инфильтрации W представить как функцию $W = W(x, y, t)$.

РАСЧЕТ КОЛЬЦЕВОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Кольцевые горизонтальные дренажи с успехом могут быть применены для защиты от подтопления фундаментов и подвальных помещений отдельных зданий и сравнительно небольших по площади территорий.

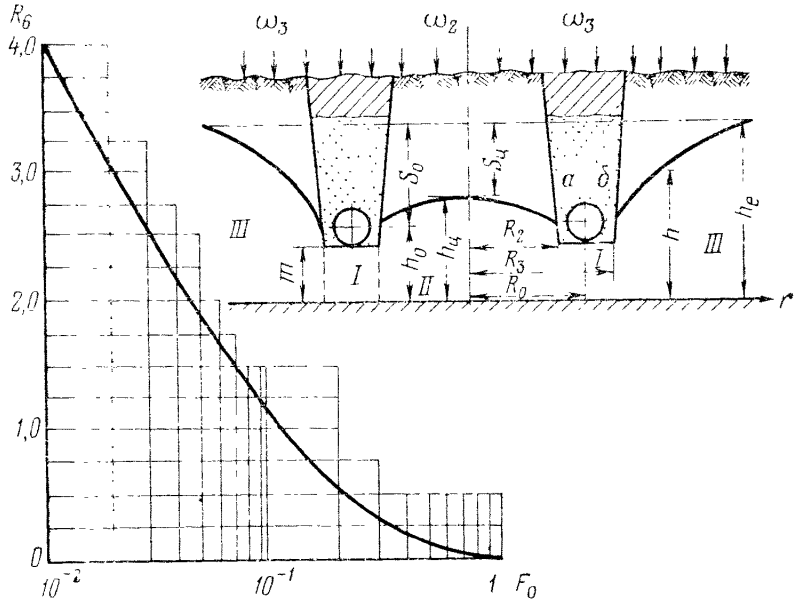


Рис. 56. График функции $R_б$ (F_0) и схема к расчету кольцевого дренажа

В реальных условиях конфигурация замкнутого дренажа бывает самой разнообразной, однако для расчета она приводится к кольцевой по формуле

$$R_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \qquad (35)$$

где F — площадь внутри реального контура дренажа.

Область фильтрации к кольцевому несовершенному дренажу (рис. 56) при расчетах также разделяется на три зоны: *I* — находится под дном несовершенной траншеи ($R_2 < r < R_3$), *II* — в границах осушаемой площади ($0 < r < R_2$) и *III* — занимает всю остальную часть водоносного пласта ($R_2 < r < \infty$). Понижения уровня грунтовых вод в зонах *II* и *III* определяются по формулам:

$$S_2 = S_0 R_4 (F_{02}, \bar{r}, \lambda_2 R_0) - \frac{W_2 t}{\mu} R_5 (z_2, \beta_2), \quad 0 \leqslant r \leqslant R_2, \tag{36}$$

$$S_3 = S_0 \frac{E_i\left(-\frac{r^2}{4a_3 t}\right)}{E_i\left(-\frac{R^2_{3\,\text{пр}}}{4a_3 t}\right)} - \frac{W_3 t}{\mu}\left[1 - \frac{-E_i\left(-\frac{r^2}{4a_3 t}\right)}{F_{03\,\text{пр}}}\right], \quad R_2 \leqslant r \leqslant \infty, \tag{37}$$

где

$$R_4 = 1 - \sum_{n=1}^{\infty} A_n I_0 (\gamma_n \bar{r}) \exp\left(-\gamma_n^2 F_{02}\right),$$

$$A_n = \frac{2 I_1 (\gamma_n)}{\gamma_n \left[I_0^2 (\gamma_n) + I_1^2 (\gamma_n)\right]}, \quad \gamma_n \text{ — корни уравнения,}$$

$$\frac{I_0 (\gamma)}{I_1 (\gamma)} = \frac{\gamma}{\lambda_2 R}, \quad F_{02} = \frac{a_2 t}{R_2^2}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R_2},$$

$$F_{03\,\text{пр}} = \frac{a_3 t}{R^2_{3\,\text{пр}}},$$

$$R_{3\,\text{пр}} = R_3 e^{-\frac{1}{\lambda_3 R_3}}, \quad a = \frac{T_t}{\mu},$$

$$R_5 = \int_0^t R_4\, dt, \quad \lambda_2 \cong 1/h_{\text{ср. 2}}.$$

Функция R_4 для значений $\bar{r} = 0$ и 0,5 представлена графиками на рис. 55. Функция R_5 определяется для времени $t < 0{,}1\ r^2/a_2$ через функцию R_1 по соотношению

$$R_5 = \sqrt{\frac{r}{R_2}} R_1, \tag{38}$$

а для больших t $R_5 \approx 1$. При пользовании графиком функции R_1 необходимо положить

$$z = z_2 = \frac{R_2 - r}{2\sqrt{a_2 t}}, \quad \beta = \beta_2 = \lambda_2 \sqrt{a_2 t}.$$

Функция $E_i\,(u)$ представлена таблицами и графиками во многих работах, например [32, 127].

Расход, поступающий в кольцевую дрену, определяется по формуле

$$Q = 2\pi T_2 \left[S_0 R_6 (F_{02}) + \frac{W_2 t}{2\mu F_{02}} \right] + 2\pi T_3 \left[\frac{S_0}{\ln (1 + \sqrt{\pi F_{03\,пр}})} + \frac{2W_3 t}{\mu F_{03пр}} \right], \quad (39)$$

где

$$R_6 = \sum_{n=1}^{\infty} A_n I_1 (\gamma_n) \gamma_n \exp (-\gamma_n^2 F_{02}),$$

$$F_{02} = \frac{a_2 t}{R_2^2}, \quad F_{03\,пр} = \frac{a_3 t}{R_{0\,3\,пр}^2}, \quad R_{03\,пр} = R_3 e^{-\frac{1}{\lambda_3 R_3}}.$$

Функция R_6 представлена графиком на рис. 56.

РАСЧЕТ ПЛАСТОВОГО ДРЕНАЖА

Пластовый дренаж любой формы при гидрогеологических расчетах приводится к круговой по формуле (35). Расчетная схема для пластового дренажа круглой формы показана на рис. 57, *а*. Как

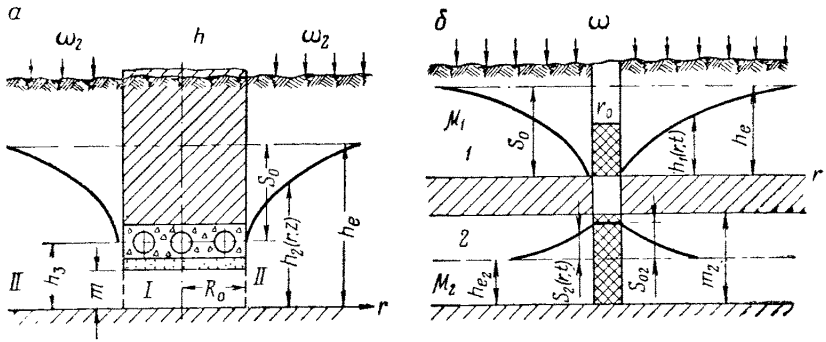


Рис. 57. Схема к расчету пластового дренажа (*а*) и поглощающих скважин (*б*)

и в предыдущем случае, вся область фильтрации при расчете разбивается на две зоны: *I* — находится под дном котлована ($0 < r < R_0$), *II* — в пределах всего водоносного пласта ($R_0 < r < \infty$). Понижение уровня грунтовых вод в зоне *II* определяется по формуле

$$S_2 = S_0 \frac{E_i \left(-\frac{r^2}{4a_2 t} \right)}{E_i \left(-\frac{R_{0\,пр}^2}{4a_2 t} \right)} - \frac{W_2 t}{\mu} \left[1 - \frac{-E_i \left(-\frac{r^2}{4a_2 t} \right)}{F_{02\,пр}} \right], \quad (40)$$

а приток воды, подлежащий отводу, по уравнению

$$Q = 2\pi T_2 \left[\frac{S_0}{\ln (1 + \sqrt{\pi F_{02\,пр}})} + \frac{2W_2 t}{\mu F_{02\,пр}} \right], \quad (41)$$

где

$$a_2 = \frac{T_2}{\mu}, \quad R_{\text{опр}} = R_0 e^{-\frac{1}{\lambda R_0}},$$

$$\lambda = \alpha_1 \alpha_2 \frac{I_1(\alpha R_0)}{I_0(\alpha R_0)},$$

$$F_{\theta 2\,\text{пр}} = \frac{a_2 t}{R_{\text{опр}}}, \quad \alpha = \frac{1}{m}\alpha_2 = \frac{m}{h_{2\,\text{ср}}}.$$

РАСЧЕТ ПОГЛОЩАЮЩИХ СКВАЖИН

Поглощающие скважины применяются для приема и отвода воды с осушаемого горизонта. В отдельных случаях они могут использоваться и как самостоятельные дренажные устройства, хотя, как показали опытно-промышленные испытания [23], их эффективность весьма мала.

Гидрогеологический расчет заключается [31] в определении дренажного эффекта поглощающей скважины при оборудовании ее фильтром в слабопроницаемом пласте и расхода, который может быть сброшен в поглощающий горизонт путем оценки повышения в нем уровня воды при заданном сбрасываемом расходе. Далее приводится расчет для одиночной поглощающей скважины (см. рис. 57, *б*).

Понижение уровня воды в дренируемом горизонте *1* приближенно определяется уравнением [32]

$$S_1 = -\frac{Q_1(t)}{4\pi T_1} E_i\left(-\frac{r}{4a_1 t}\right) - \frac{Wt}{\mu_1}, \tag{42}$$

где T_1, a_1 — соответственно проводимость и уровнепроводность дренируемого горизонта *1*;

μ — водоотдача горизонта *1*.

Расход $Q_1(t)$, сбрасываемый с осушаемого горизонта *1*, определяется по формуле

$$Q_1(t) = 2\pi T_1 \left[\frac{S_0}{\ln\left(1 + \sqrt{\frac{\pi a_1 t}{r_0^2}}\right)} + \frac{2Wt}{\mu_1 f_{01}}\right], \tag{43}$$

где r_0 — радиус поглощающей скважины в интервале горизонта *1*;

μ_1 — водоотдача горизонта *1*;

$f_{01} = a_1 t / r_0^2$.

Повышение уровня в поглощающем горизонте определяется по уравнению

$$S_2 = -\frac{Q_1(t)}{4\pi T_2} E_i\left(-\frac{r^2}{4a_2 t}\right), \tag{44}$$

где T_2, a_2 — соответственно производимость и уровнепроводность (или пьезопроводность для напорного пласта) горизонта *2*.

Если поглощаемая скважина предназначена для приема вод из дренажей горизонтального типа, рассматриваемых выше, то расход $Q(t)$ определяется по формулам, отражающим приток к выбранной схеме дренажа.

РАСЧЕТ ЛУЧЕВОГО СКВАЖИННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Лучевые дренажи, сооружаемые из шахтных колодцев и буровых скважин для ликвидации подтопления зданий и сооружений, могут быть однолучевыми или кустовыми.

В зависимости от степени и характера подтопления и размеров защищаемого объекта могут применяться либо одиночные кусты горизонтальных скважин, либо их системы; их размещение показано на рис. 58.

При проектировании лучевых дренажей необходимо исходить из следующих очевидных условий: эффективность лучевых дренажей определяется прежде всего глубиной заложения и длиной горизонтальных скважин. Увеличение числа скважин в луче свыше четырех, хотя существенно и не влияет на общий расход лучевого дренажа [10, 115], но в этом случае эффективность в снижении уровня заметно возрастает [10, 98]. Экспериментально установлено также [10, 27, 114], что увеличение диаметра горизонтальной дренажной лучевой скважины не приводит к ощутимому увеличению ее дебита.

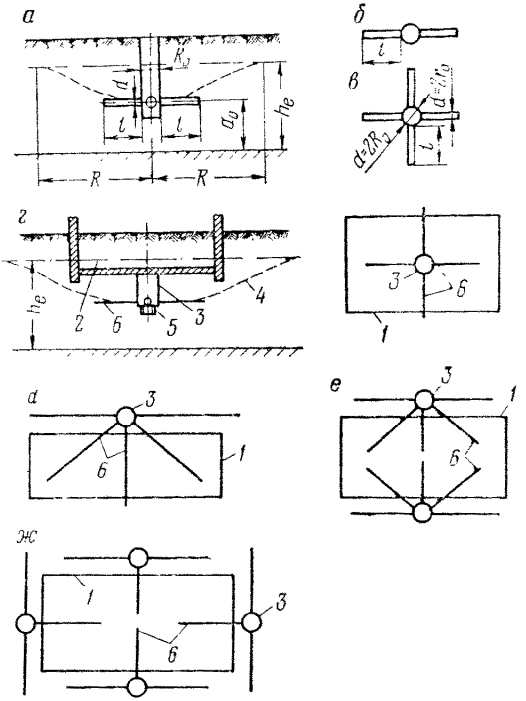


Рис. 58. Некоторые системы лучевых горизонтальных скважин и схемы их расположения.

а, б, в, г, д — лучевой дренаж, состоящий из одного куста скважин; *е* — то же, из двух кустов скважин; *ж* — то же, из четырех кустов скважин. *1* — фундамент здания; *2* — подвал; *3* — шахтный колодец (буровая скважина); *4* — пониженный уровень грунтовых вод; *5* — водосборник; *6* — горизонтальная лучевая скважина

Анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований о притоке жидкости к горизонтальным скважинам в условиях установившегося движения приведен в работе [10]. Формула для

дебита одиночной горизонтальной скважины в напорном пласте имеет вид [31]

$$Q = \frac{2\pi TS}{\ln \sqrt{\frac{R^2}{l^2 + r_0^2}} + 1 - \frac{r_0}{l} \operatorname{arctg} \frac{l}{r_0} - \frac{h}{2l} \ln \left(\frac{2\pi r_0}{h} \sin \frac{\pi a_0}{h} \right)}, \quad (45)$$

где T — проводимость водоносного пласта;
h — мощность водоносного пласта;
S — понижение над дреной;
R — радиус влияния;
l — длина горизонтальной скважины;
r_0 — ее радиус;
a_0 — расстояние от оси скважины до почвы пласта.

В безнапорных пластах для приближенного определения S или a_0 по формуле (45) необходимо в ней положить $h = h_{ср}$.

Ю. П. Борисовым и В. П. Табаковым с помощью метода фильтрационных сопротивлений при $a_0 = h/2$ была получена очень простая приближенная формула для определения дебита одиночных и куста симметрично расположенных в нем n ($1 < n < 4$) горизонтальных скважин [31, 115]:

$$Q_к = \frac{2\pi TS}{\ln \frac{\lambda R}{l} + \frac{h}{nl} \ln \frac{h}{2\pi r_c}}. \quad (46)$$

Величина $\lambda = \lambda(n)$, входящая в формулу (46), определяется в зависимости от n.

n	1	2	3	4
$\lambda(n)$	4	2	1,86	1,78

Формулу (46) можно переписать так:

$$Q = \frac{2\pi khS}{\ln \frac{R}{R_0}}, \quad (47)$$

$$R_0 = \ln \frac{l}{\lambda} + \frac{h}{\lambda l} \ln \frac{h}{2\pi r_0}, \quad (48)$$

где R_0 — эквивалентный радиус «большого» колодца, дебит которого равен дебиту куста горизонтальных скважин;
$Q_к$ — дебит куста скважин.

Производительность лучевого дренажа, состоящего из N симметрично расположенных дрен при неустановившейся фильтрации, можно определять по формуле, предложенной Г. А. Разумовым [101]:

$$Q = \frac{2\pi k \left(h_e^2 - h_0^2\right) N}{\left(\ln \frac{at}{m^2} - \frac{15{,}6}{\sqrt[5]{\bar{l} + 3\bar{D}}} \right) n + \frac{3\bar{D} + 3{,}6}{\bar{l}}}, \quad (49)$$

где h_e и h_0 — соответственно статический и динамический уровни грунтовых вод;

N — число горизонтальных лучевых скважин;
a — коэффициент уровнепроводности водоносного пласта;
m — средняя мощность водоносного пласта, $m = (h_e + h_0)\,1/2$;
$\bar{l}$ — относительная длина горизонтальной скважины, $\bar{l} = l/m$ (l — длина горизонтальной скважины);
$\bar{D}$ — относительный радиус водосборного шахтного колодца, $\bar{D} = D/2m$ (D — диаметр водосборного шахтного колодца);
$n = 360°/\alpha$ (α — угол между лучами, градус).

При произвольном расположении горизонтальных скважин в кусте задача решения не имеет. Вместе с тем при понижении уровня грунтовых вод под зданиями и сооружениями на застроенных территориях с помощью лучевых дренажей расположение скважин в кусте может быть весьма произвольным; как правило, разной бывает и длина скважины. Причем для оценки эффективности лучевых дренажей необходимо иметь расчетный метод, позволяющий хотя бы приближенно определять понижение уровня грунтовых вод в пределах защищаемого участка. Необходимо отметить, что методы моделирования чрезвычайно трудоемки для оценки эффективности систем лучевых скважин в безнапорных потоках. Ниже приводится приближенный прием гидрогеологического расчета лучевого дренажа при неустановившемся движении грунтовых вод. Этот прием основан на последовательном использовании формулы (47) и уравнения для понижения уровня грунтовых вод при водоотборе скважиной в режиме постоянного расхода $Q = \text{const}$ в условиях инфильтрации W постоянной интенсивности [32]

$$S = -\frac{Q}{2\pi T} E_i\left(-\frac{r^2}{4at}\right) - \frac{Wt}{\mu}. \qquad (50)$$

Порядок проведения расчета следующий.

Для одиночного куста скважины. 1. По формуле (47) определяется общий дебит куста горизонтальных скважин. Если расположение скважин в кусте несимметрично, число их больше четырех или длина скважины разная, радиус «большого» колодца R_0 определяется по формуле (35), исходя из площади F, ограниченной ломаной линией, проходящей через концы горизонтальных скважин. Расчетный радиус влияния R определяют по опытным данным; вместе с тем наблюдения показывают, что его размер в слабопроницаемых грунтах не превышает 20—25 м.

2. Находим расход, приходящийся на 1 м горизонтальной дрены в кусте,

$$q = \frac{Q_к}{\sum l_i}, \qquad (51)$$

где Σl_i — суммарная длина горизонтальных скважин в кусте.

3. Далее каждую горизонтальную скважину куста разбиваем на два-три отрезка длиной Δl_i (желательно разбивку производить так, чтобы отрезки Δl_i не превышали первоначальную мощность

горизонта h_e) и заменяем ее тем же количеством скважин с расходами $Q_i = q\Delta l_i$, центры которых размещаются посередине отрезка.

4. Теперь с помощью формулы (50), применяя метод суперпозиции, определяем понижения уровня грунтовых вод $S_м$ в точке М защищаемого участка:

$$S_м = -\frac{1}{4\pi T}\sum_{n=1}^{i} Q_i E_i\left(-\frac{r_i}{4at}\right) - \frac{Wt}{\mu}, \qquad (52)$$

где r_c — расстояние от воображаемой скважины Q до расчетной точки.

Для системы кустов лучевых скважин, применяя принцип суперпозиции, находим дебит каждого куста, приравнивая его к дебиту «большого» колодца. Приведенный радиус такого колодца определяется по формуле (35). Если приведенные радиусы «больших» колодцев примерно равны, то для некоторых схем расположения кустов их дебиты можно определять по формулам [1]:

для двух взаимодействующих кустов

$$Q = \frac{2\pi TS}{\ln\dfrac{R_c^2}{2\sigma_0 R_0}}, \qquad (53)$$

где σ_0 — половина расстояния между центрами двух взаимодействующих кустов;

R_c — радиус влияния системы, $R_c = R + \sigma_0$;

для трех взаимодействующих кустов лучевых скважин, расположенных по вершинам равностороннего треугольника

$$Q = \frac{2\pi TS}{\ln\dfrac{R_c^3}{4\sigma_0^2 R_0}}, \qquad (54)$$

где $R_c = R + 1{,}16\sigma_0$;

σ_0 — половина расстояния между центрами трех кустов;

для четырех взаимодействующих групп дрен, расположенных по углам квадрата

$$Q = \frac{2\pi TS}{\ln\dfrac{R_c^4}{11{,}3\sigma_0^3 R_0}}, \qquad (55)$$

где $R_c = R + 1{,}41\sigma_0$;

σ_0 — половина расстояния между центрами четырех кустов скважин.

Далее расчет производится в соответствии с рекомендациями для одиночного куста скважин.

Приведенные выше расчетные зависимости для оценки эффективности горизонтальных дренажей с учетом инфильтрации атмосферных осадков и утечек водных коммуникаций суммарной интен-

сивностью W могут быть использованы, если известна (в среднем) ее величина. При проектировании защитных дренажей она может быть взята в первом приближении из табл. 15, 26, приведенных в главах II и IV.

ПРИМЕРЫ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ДРЕНАЖА

Пример 1. Требуется рассчитать, на каком расстоянии необходимо построить однолинейный горизонтальный дренаж несовершенного типа для защиты от подтопления подвальных помещений зданий и определить общий приток к нему воды.

Глубина заложения подвальных помещений равна 2 м. Уровень грунтовых вод в весенний период располагается в 1,5 м от поверхности земли. Водоупор находится на глубине 6 м. Длина дренажа равна 500 м, глубина его заложения 4,5 м. Коэффициент фильтрации $k = 0{,}2$ м/сут. Средняя мощность водоносного пласта $h = 4{,}5$ м. Величина инфильтрации $W = 0{,}0006$ м/сут. Время работы дренажа с учетом инфильтрации $t = 210$ сут. Величина водоотдачи лёссовидных суглинков $\mu = 0{,}05$, а коэффициент уровнепроводности $a = kh_{ср}/\mu = 18$ м^2/сут. Заглубление дрены под уровень грунтовых вод $S_0 = 3{,}0$ м. Половина ширины траншей $b = 0{,}5$ м, а величина $m = 1{,}35$ м.

Депрессионную кривую рассчитываем по формуле (30). Вначале определим снижение уровня воды на расстоянии $x = 2$ м от дрены

$$z = \frac{x-b}{2\sqrt{at}} = \frac{2-0{,}5}{2\sqrt{18\cdot 210}} = 0{,}012,$$

$$\alpha = \frac{1}{m} = \frac{1}{1{,}35} = 0{,}75 \text{ м}^{-1},$$

$$\lambda = \alpha \operatorname{th} \alpha b = 0{,}75 \operatorname{th} \frac{0{,}5}{1{,}35} = 0{,}26 \text{ м}^{-1},$$

$$\beta = \lambda\sqrt{at} = 0{,}26\sqrt{18\cdot 210} = 16{,}32.$$

По графикам рис. 53, 54 получаем значение функций $R_1 = 0{,}98$ и $R_2 = 0{,}02$.

$$S = 3{,}0\cdot 0{,}98 - \frac{0{,}0006\cdot 210}{0{,}05}\cdot 0{,}02 = 2{,}9 \text{ м}.$$

Аналогично на расстоянии $x = 2{,}5, 10, 20, 25, 30, 35$ м определяем снижение уровня воды (в м), равное соответственно 2,9; 2,5; 2,1; 1,2; 0,8; 0,3; 0,1. Из приведенных данных видим, что горизонтальный дренаж должен располагаться на расстоянии не более 25 м от ряда зданий. При этом уровень грунтовых вод в весенний период будет находиться на 0,3 м ниже оснований подвальных помещений.

Расход, поступающий к горизонтальной дрене с одной стороны на 1 м ее длины, определяем по формуле (31).

Значение функции $R_3(\beta)$ определяем по графику на рис. 55, которое равно 0,02.

$$q_0 = 0{,}2 \cdot 4{,}5\left[3{,}0 \cdot 0{,}02 \cdot 0{,}26 + 1{,}13\frac{0{,}0006 \cdot 210}{0{,}05\sqrt{18 \cdot 210}}\right] = 0.05 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Полный расход к горизонтальной дрене определяем по формуле (32).

$$Q = 2q_0 \cdot l = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 500 = 50 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Пример 2. Требуется рассчитать кольцевой горизонтальный дренаж несовершенного типа, расположенный вокруг здания размером 90 × 12 м на глубине 4,5 м при положении уровня воды и водоупора, указанном в примере 1.

Размер кольцевого горизонтального дренажа 110 × 22 м. Коэффициент фильтрации $k = 0{,}2$ м/сут. Средняя мощность пласта $h = 4{,}5$ м. Величина инфильтрации $W = 0{,}0002$ м/сут. Время работы дренажа с учетом инфильтрации $t = 210$ сут. Заглубление дренажа $S_0 = 3{,}0$ м. Величина водоотдачи лёссовидных суглинков равна $\mu = 0{,}05$, а коэффициент уровнепроводности $a = 18$ м²/сут. Половина ширины траншеи $b = 0{,}5$ м, а величина $m = 1{,}35$.

$$R_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}} = \sqrt{\frac{110 \cdot 22}{3{,}14}} = 28 \text{ м}, \quad R_2 = 27{,}5,$$

$$R_3 = 28{,}5 \text{ м}.$$

Положение кривой депрессии в центре кольцевого дренажа определяем по формуле (36), где

$$F_0 = \frac{at}{R_2^2} = \frac{18 \cdot 210}{27{,}5^2} = 5,$$

$$\bar{r} = \frac{r}{R_0} \text{ (для центра дренажа } \bar{r} = 0),$$

$$z = \frac{x - b}{2\sqrt{at}} = \frac{28 - 0{,}5}{2\sqrt{18 \cdot 210}} = 0{,}22,$$

$$\alpha = \frac{1}{m} = \frac{1}{1{,}35} = 0{,}75 \text{ м}^{-1},$$

$$\lambda = \alpha \operatorname{th} \alpha b = 0{,}75 \operatorname{th} \frac{0{,}5}{1{,}35}\, 0{,}26 \text{ м}^{-1},$$

$$\beta = \lambda\sqrt{at} = 0{,}26\sqrt{18 \cdot 210} = 16{,}32.$$

Значение функции R_4 определяем по графику на рис. 55. $R_4 = 1$, R_5 для $t = 210$ сут равно единице.

$$S_1 = 3{,}0 - \frac{0{,}0002 \cdot 210}{0{,}05} \cdot 1 = 2{,}16 \text{ м}.$$

Расчет кривой депрессии за контуром кольцевого дренажа на расстоянии r, равном 35, 40 и 50 м, производим по формуле (37), где

$$R_{3\,пр} = R_3 e^{-\frac{1}{\lambda R_3}} = 28{,}5 e^{-\frac{1}{0{,}26 \cdot 28{,}5}} = 13{,}7 \text{ м}.$$

Тогда

$$F_{01\,пр} = \frac{at}{R_{3\,пр}} = \frac{18 \cdot 210}{13{,}7^2} = 20{,}2.$$

Так как значение функции $r^2/4at$ мало, то интегральную показательную функцию E_i заменяем на логарифмическую $\ln (2{,}25/r^2)\, at$. Определяем снижение уровня воды для $r = 35$ м.

$$S_2 = S_0 \frac{\ln \frac{2{,}25}{35^2} 18 \cdot 210}{\ln \frac{2{,}25}{13{,}7^2} 18 \cdot 210} - \frac{0{,}0002 \cdot 210}{0{,}05} \times$$

$$\times \left[1 - \frac{-\left(-\ln \frac{2{,}25}{35^2} 18 \cdot 210\right)}{276}\right] = 0{,}66 \text{ м}.$$

Аналогично определяем снижение уровня воды для r, равного 40 и 50 м. Снижение уровня воды на данных расстояниях соответственно равно 0,32 и 0,24 м. Приток к кольцевому горизонтальному дренажу определяем по формуле (39),

где

$$F_0 = \frac{at}{R_2^2} = \frac{18 \cdot 210}{27{,}5^2} = 5;$$

$$F_{01\,пр} = \frac{at}{R_{01\,пр}^2} = \frac{18 \cdot 210}{13{,}7^2} = 20{,}2.$$

Значение функции R_6 определяем по графику на рис. 56, которое равно единице.

Поскольку инфильтрация внутри контура кольцевого дренажа практически отсутствует, то $Wt/2\mu F_0 = 0$;

$$Q = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}9\,[3{,}0 \cdot 1 + 0] +$$

$$+ 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}9 \left[\frac{3{,}0}{\ln (1 + \sqrt{3{,}14 \cdot 276})} + \frac{2 \cdot 0{,}0002 \cdot 210}{0{,}05 \cdot 276}\right] = 22 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Пример 3. Требуется рассчитать пластовый дренаж здания размером в плане 30 × 30 м несовершенного типа, заглубленного на 4,5 м, при положении уровня воды и водоупора, указанном в примере 1.

Коэффициент фильтрации $k = 0{,}2$ м/сут. Средняя мощность водоносного пласта $h = 4{,}5$ м. Величина инфильтрации $W = 0{,}0002$ м/сут. Время работы дренажа с учетом инфильтрации $t = 210$ сут. Величина водоотдачи $\mu = 0{,}05$, а коэффициент уровнепроводности $a = 18$ м^2/сут. Заглубление дрены $S_0 = 3{,}0$ м. Величина $m = 1{,}25$ м. Радиус $R_0 = \sqrt{F/\pi} = \sqrt{(30 \cdot 30)/3{,}14} = 17$ м.

Расчет депрессионной кривой у здания на расстоянии r, равном 25, 30 и 40 м, производим по формуле (40). Как и в предыдущем примере, интегральную показательную функцию E_i заменяем на логарифмическую $\ln (2{,}25/r^2)$ at.

$$\alpha = \frac{1}{m} = \frac{1}{1{,}25} = 0{,}8 \text{ м}^{-1},$$

$$\alpha_2 = \frac{m}{h_{ср}} = \frac{1{,}25}{4{,}5} = 0{,}28,$$

$$\lambda = \alpha \cdot \alpha_2 \frac{I_1(\alpha R_0)}{I_0(\alpha R_0)}.$$

Для $\alpha R_0 = 0{,}8 \cdot 17 = 13{,}5$ функция $I_1(\alpha R_0)/I_0(\alpha R_0)$ равна единице. Значит, $\lambda = \alpha\alpha_2 = 0{,}8 \cdot 0{,}28 = 0{,}22$ м$^{-1}$.

$$R_{01\,пр} = R_0 e^{-\frac{1}{\lambda R_0}} = 17 e^{-\frac{1}{0{,}22 \cdot 17}} = 13 \text{ м},$$

$$F_{01\,пр} = \frac{at}{R_{01\,пр}} = \frac{18 \cdot 210}{13} = 290.$$

Определяем снижение уровня воды для $r = 25$ м.

$$S = 3\frac{\ln \frac{2{,}25}{25^2} 18 \cdot 210}{\ln \frac{2{,}25}{13^2} 18 \cdot 210} - \frac{0{,}0002 \cdot 210}{0{,}05}\left[- \frac{-\left(-\frac{2{,}25}{25^2} \cdot 18 \cdot 210\right)}{290} \right] = 1{,}16 \text{ м}.$$

Также производим расчет для r, равного 30 и 40 м. Значения S соответственно равны 0,9 и 0,4 м. Приток воды к пластовому дренажу определяем по уравнению (41).

$$Q = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}9\left[\frac{3{,}0}{\ln (1 + \sqrt{3{,}14 \cdot 290})} + \frac{2 \cdot 0{,}0002 \cdot 210}{0{,}05 \cdot 290}\right] = 5{,}2 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ ДРЕНАЖЕЙ НА ПОДТАПЛИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

На застраиваемых территориях городов и промышленных предприятий с высоким положением уровня грунтовых вод применяют различные способы дренирования грунтов как в целях предотвращения подтопления зданий, сооружений и подземных коммуникаций, так и для борьбы с ним [1—3]. К ним относятся в основном горизонтальные дренажи. Тем не менее в настоящее время недостаточно обобщен опыт их эксплуатации, а также отсутствуют сведения об эффективности осушения слабопроницаемых грунтов. Ниже приведены результаты изучения эффективности некоторых осуществленных дренажей на подтапливаемых территориях.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДРЕНАЖЕЙ ПРИ ЗАЩИТЕ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Защита от подтопления девятиэтажного жилого дома. Участок расположения дома находится на склоне долины реки. Рельеф поверхности довольно ровный. Для защиты от подтопления заглубленной части дома одновременно с его строительством сооружен пластовый дренаж. Длина дома равна 45,7 м, ширина — 13,5 м. Конструктивная схема пластового дренажа представляет собой сплошную двухслойную фильтрующую постель, уложенную под всем заглубленным зданием. Нижний слой толщиной 15 см представлен среднезернистым кварцевым песком диаметром 0,5—3 мм, а верхний слой толщиной 20—40 см (по профилю) — щебнем размером 3—25 мм. С одной стороны защищаемого здания на 1,4 м ниже его основания уложены керамические трубы диаметром 150 мм с двухслойной фильтрующей обсыпкой — песчаной и щебеночной, по которым самотеком отводятся дренажные воды в ливнестоки.

Геологический разрез участка дренажа до глубины 10—12 м сложен делювиальными отложениями четвертичного возраста, залегающими на неровной поверхности неогеновых образований сарматского яруса. Четвертичные отложения представлены суглинками желто-бурыми, красновато-бурыми с включениями гнезд карбонатов, с маломощными (2—5 см) и редкими прослоями песка.

В период обследования пластового дренажа грунтовые воды на участке расположения защищаемого от подтопления здания залегали на глубине 2,5—3,0 м, а в весенний период их уровень может достигать 1,5 м и менее от поверхности.

Водопроницаемость суглинков характеризуется низкими по величине значениями коэффициентов фильтрации. Так, по результатам

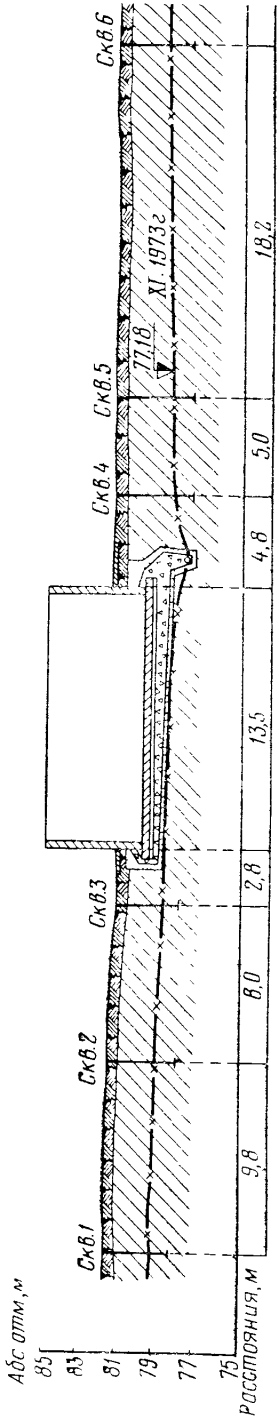


Рис. 59. Гидрогеологический разрез территории девятиэтажного жилого дома

налива и двух откачек, проводимых в период изысканий, коэффициент фильтрации составил соответственно 0,06 и 0,02 м/сут.

Для наблюдений за снижением уровня грунтовых вод пробурено шесть наблюдательных скважин, расположенных по поперечнику, проходящему через центр длинной стороны дома (рис. 59). Глубина скважин составляет 3—4 м.

Наблюдение за снижением уровня грунтовых вод под влиянием работы пластового дренажа проводилось в меженный период (ноябрь 1973 г.). Самое низкое положение их уровня на исследуемой территории, связанное с периодом межени, не позволило оценить в достаточной степени эффективность работы пластового дренажа. Почти на всем участке расположения дома уровень грунтовых вод находился у основания фильтрующей обсыпки. Наибольшее снижение уровня воды (0,6—1,0 м) наблюдалось на расстоянии 5—7 м от места заложения дренажных труб, а радиус влияния здесь достигал 15 м. Расход пластового дренажа составил 2,2 м³/сут.

Защита от подтопления пятиэтажного жилого дома. Территория, на которой расположен дом, находится на водораздельной равнинной части. Высокое положение уровня грунтовых вод на участке расположения дома предопределило строительство горизонтального дренажа для защиты его от подтопления.

В плане горизонтальный дренаж представляет собой почти замкнутый прямоугольник длиной 80 м и шириной 15 м, оконтуривающий жилой дом, и относится к пристенному типу.

В конструктивном отношении горизонтальный дренаж состоит из керамической трубы диаметром 200 мм, уложенной на щебеночной подготовке из трех фильтрующих слоев: щебня диаметром 4—10 мм, сортированного песка диаметром 0,25—2,0 мм и разно-

зернистого песка. Конструкция дренажа выполнена по рекомендации института ВИОГЕМ. Дренажные трубы уложены ниже основания фундаментов на глубине 1,75—4,15 м с уклоном 0,01—0,02. Вода, поступающая из горизонтального дренажа, отводится самотеком

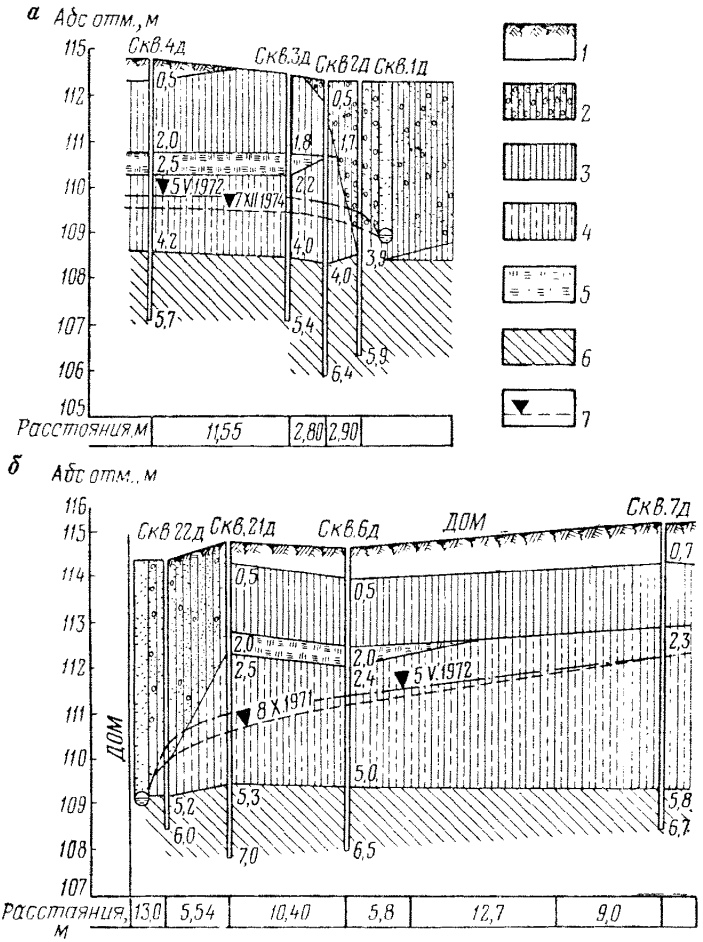


Рис. 60. Гидрогеологические разрезы территории пятиэтажного жилого дома.
а — перпендикулярно к направлению потока грунтовых вод; *б* — по направлению их потока.
1 — почвенно-растительный слой; *2* — насыпной грунт; *3* — суглинок желто-бурый; *4* —суглинок палево-желтый; *5* — ископаемая почва; *6* — суглинок буровато-коричневый; *7* — положение уровня грунтовых вод

в бытовую канализацию. Заглубление дренажных труб под уровень грунтовых вод составляет около 0,6 м на участке расположения первого поперечника и до 1,8 м на участке второго поперечника.

Для наблюдения за работой горизонтального дренажа сооружено девять наблюдательных скважин, расположенных по двум поперечникам. Первый поперечник (рис. 60, *а*) размещен перпендикулярно

к направлению потока грунтовых вод, второй (рис. 60. *б*) — по его направлению.

Геологический разрез на участке дренажа характеризуется наличием почвенно-растительного слоя мощностью 0,5—0,7 м, покрывающего желто-бурые суглинки мощностью 1,5 м. Ниже их залегают ископаемая почва, палево-желтые и буровато-коричневые лёссовидные суглинки.

Грунтовые воды на участке дренажа приурочены к наиболее водоносным палево-желтым суглинкам. Глубина их залегания изменяется от 2,5 до 4,0 м.

Проведенные наблюдения в течение восьми месяцев показывают, что дренаж вышеуказанной конструкции обеспечивает необходимое понижение уровня грунтовых вод на защищаемом участке. Максимальное снижение уровня грунтовых вод (0,7—1,5 м) и наиболее крутая кривая депрессии наблюдаются вдоль направления их потока у дрены, особенно в весенний период. Радиус влияния горизонтальной дрены достигает 18 м, а расход дренажных вод — 1 м³/сут.

Защита от подтопления подвального помещения жилого высотного дома. В 1971 г. институтом ВИОГЕМ с целью разработки рекомендаций для борьбы с подтоплением подвальных помещений проведены натурные исследования эффективности вакуум-колодцев при защите от подтопления подвального помещения жилого высотного дома. Благоприятными условиями для создания искусственного разряжения является наличие бетонного пола подвала, изолирующего осушаемые грунты от влияния атмосферы.

На площадке застройки до глубины 0,7—0,8 м залегает почвенно-растительный слой, подстилаемый желто-бурыми суглинками мощностью 1,5 м; ниже расположены палево-желтые макропористые водоносные лёссовидные суглинки мощностью 1,4 м, а затем бурые суглинки.

До застройки территории грунтовые воды на данном участке отсутствовали. В настоящее время уровень грунтовых вод в весенний период достигает 2 м от дневной поверхности, в результате чего происходит подтопление подвальных помещений. Опытная откачка вблизи здания показала, что средний коэффициент фильтрации обводненных суглинков равен 0,15 м/сут.

Для создания нормальных условий эксплуатации подвального помещения (размером в плане 8 × 2,5 м) были сооружены два вакуум-колодца, расположенных в центре подвала на расстоянии 4,9 м друг от друга. Конструкция вакуум-колодцев выполнена с учетом литологических особенностей дренируемых пород и специфических условий проходки. До глубины 3,5 м проходка вакуум-колодцев велась вручную буровыми ложками с максимальным диаметром 450 мм. В этом интервале вакуум-колодцы оборудовали фильтром из трубы диаметром 89 мм с проволочной обмоткой (диаметр проволоки 3 мм, расстояние между витками 0,5 мм). Верхняя часть трубы длиной 2 м перфорирована, а нижняя часть фильтра выполнена глухой и служит в качестве отстойника. Внутри фильтровой трубы имеется всасывающая труба, нижний конец которой нахо-

дится на глубине 3 м от пола подвала. При откачке на этой глубине в вакуум-колодцах устраивали обсыпку из разнозернистого песка, размер и содержание фракций которого приведены ниже.

Фракции, мм	5—2	2—1	1—0,5	0,2—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05
Содержание, %	1,48	17,6	18,4	41	18,1	1,7

Фракции, мм	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Содержание, %	0,08	0,44	0,69	<0,51

Такой состав фильтрующей обсыпки обоснован результатами опыта эксплуатации существующих дренажных сооружений, а также исследований С. К. Абрамова [3].

Для повышения герметичности вакуум-колодца выше слоя фильтрующей обсыпки было произведено тампонирование кольцевого пространства глиной на высоту 500 мм. Для полной герметизации вакуум-колодца сверху на уровне пола подвального помещения установили металлическую крышку толщиной 10 мм на резиновой прокладке, закрепленную болтами. При сооружении вакуум-колодцев воду из подвального помещения откачивали центробежным насосом и отводили в ливневую канализацию.

Для наблюдения за снижением уровня грунтовых вод при работе вакуум-колодцев было пробурено пять скважин (рис. 61): три расположены внутри подвального помещения (скв. 1, 2, 3), а две — с внешней стороны (скв. 4, 5). Скважина 1 пройдена в фильтрующей обсыпке первого вакуум-колодца на расстоянии 0,1 м от фильтра, скв. 2 — между вакуум-колодцами и скв. 3 — на расстоянии 0,5 м от фильтра второго колодца. Конструкция этих скважин позволяла определять в них уровень воды и величину вакуума.

Откачку воздуха и воды из вакуум-колодцев производили в течение 2,5 сут с помощью серийно выпускаемого вакуум-насоса типа КВН-4, установленного в подвальном помещении. Колодцы соединяли с вакуум-насосом при помощи напорного резинового шланга с внутренним диаметром 32 мм.

В процессе работы вакуум-насоса через час производили замеры расходов дренажных вод, положения уровня воды в наблюдательных скважинах, а также величины вакуума в колодцах и наблюдательных скважинах, расположенных в подвальном помещении. Максимальный расход воды (3,4 м^3/сут) двух вакуум-колодцев наблюдался в начальный период откачки. В дальнейшем происходило снижение, а спустя сутки после начала откачки наступила стабилизация в пределах 1,65—1,75 м^3/сут. Наибольший радиус вакуумирования осушаемых грунтов достигал 1 м.

Проведенные наблюдения показали, что при работе вакуум-колодцев уровень грунтовых вод снижался в наибольшей степени у вакуум-колодцев и между ними (табл. 30; см. рис. 61) до положения, при котором создаются нормальные условия для эксплуатации подвального помещения.

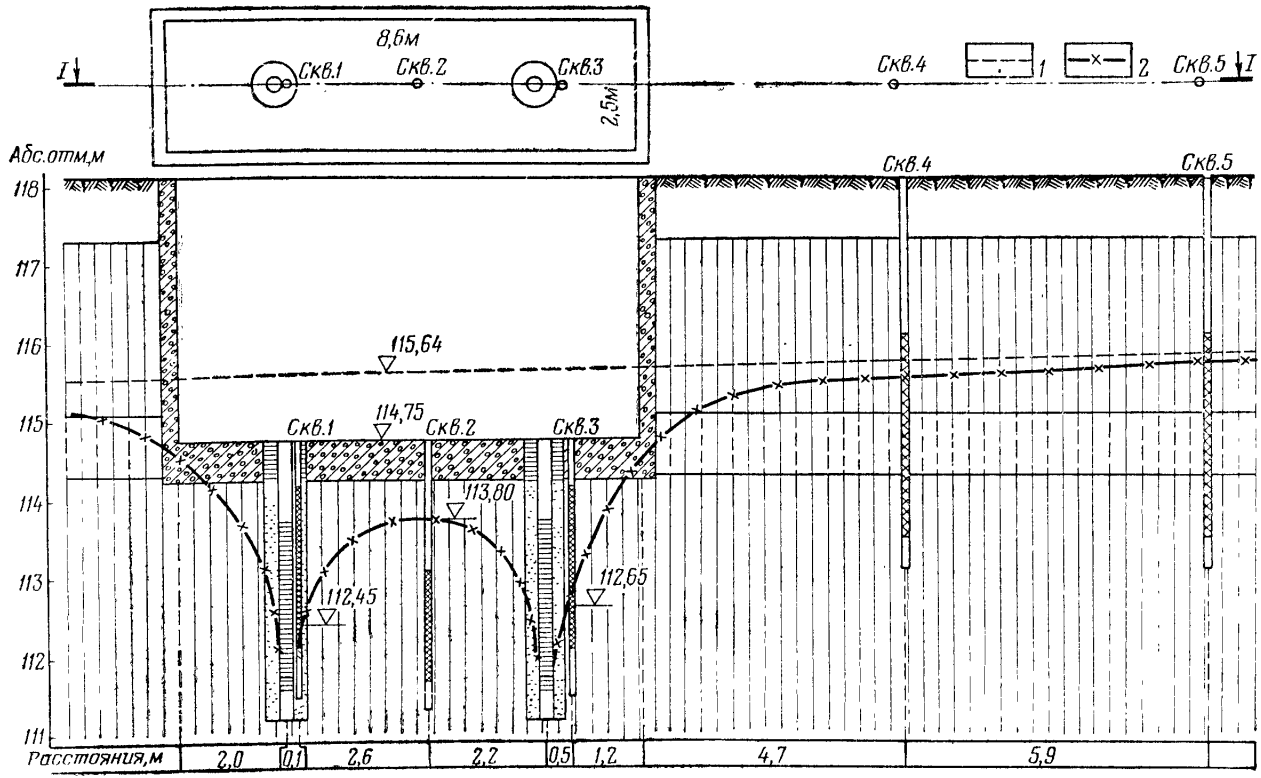


Рис. 61. Гидрогеологический разрез территории подвального помещения.

1 — статическое положение уровня воды; *2* — динамическое положение уровня воды

Таблица 30

Снижение уровня грунтовых вод под влиянием работы вакуум-колодцев

Показатели	Наблюдательные скважины				
	1	2	3	4	5
Расстояние между наблюдательной скважиной и вакуум-колодцем, м	0,1	2,45	0,5	6,5	12,3
Величина снижения уровня грунтовых вод, м	2,50	0,95	2,35	0,07	—

Периодическая работа вакуум-колодцев с автоматическим включением вакуум-насоса сохраняет нормальные условия эксплуатации подвального помещения более 2 лет. Откачку воды из вакуум-колодцев в обычных условиях (без вакуумирования) не производили. Поэтому нет возможности сопоставить эффективность работы вакуум-колодцев и водопонижающих скважин. Сравнение же с работой вблизи расположенной дренажно-поглощающей скважины показало значительно большую эффективность вакуум-колодцев при осушении лёссовидных суглинков. Так, величина понижения уровня воды у вакуум-колодца (в скв. 3) составила 2,35 м, а у дренажно-поглощающей скважины (в затрубной скважине) — около 0,58 м.

Защита от подтопления здания цеха связи. Применение известных способов защиты построенных объектов от подтопления связано с чрезвычайно большими трудностями. К ним относятся нарушение благоустройства территории, демонтаж и монтаж подземных коммуникаций на период производства работ, остановка производственных цехов и т. д.

В 1974 г. институтом ВИОГЕМ производились опытно-промышленные испытания нового перспективного способа защиты построенных зданий и сооружений от подтопления грунтовыми водами, основанного на применении систем лучевых горизонтальных скважин. Объектом для опытно-промышленных испытаний послужило подтапливаемое здание цеха связи на промплощадке № 2, расположенной на Украине.

Для сооружения лучевых скважин институтом ВИОГЕМ разработана установка лучевого бурения УЛБ-130 (Ф. С. Малацковский, И. В. Якименко, В. Г. Королев), которая позволяет бурить из шахтного колодца диаметром 2,5 м в свету горизонтальные и наклонные лучевые скважины (рис. 62). Она состоит из трех основных узлов: бурового агрегата, маслостанции с маслопроводами и пульта управления.

Буровой агрегат является основным рабочим органом, состоящим из двух вращателей — вращателя обсадных труб и вращателя бурильных штанг — шнеков. Вращатель обсадных труб размещен на подвижной раме, которая посредством гидроцилиндра подачи передвигается по направляющим рамы на величину хода 1000 мм.

На неподвижной раме (в передней части) укреплен подхват для труб (гидроключ), предназначенный для свинчивания и развинчи-

вания труб, а на корпусе цилиндра подачи расположен подхват — упор для удобства и облегчения работы при наращивании секции труб.

Неподвижная рама посредством осей и стойки шарнирно соединена с опорной рамой сварной конструкции, на которой установлены домкраты, позволяющие придать раме угол наклона $\pm 10°$ (к горизонту).

Маслостанция представляет собой автономный блок, предназначенный для подачи масла к приводам бурового агрегата. Она смонтирована на единой сварной раме, на которой установлены маслобак

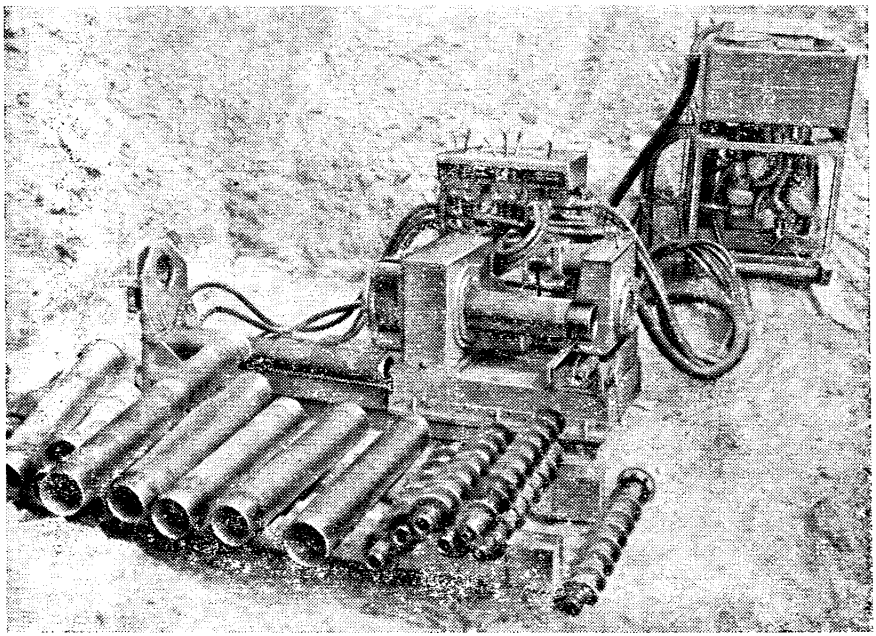


Рис. 62. Установка лучевого бурения УЛБ-130

в сборе с фильтрами гидросистемы трактора Т-74 и редуктор насоса с приводом от электродвигателя АО2-81.

Подключение электродвигателя к силовой сети осуществляется посредством пускателя типа ПА-532 и кнопочной станции КУ-12. Кроме того, к пускателю подсоединена дублирующая кнопка аварийного отключения КУВ-11, находящаяся в шахтном колодце непосредственно у пульта управления.

Разводка маслопроводов включает рукава высокого и низкого давления, а также трубопроводы. Все маслопроводы и трубопроводы оснащены необходимой арматурой для подключения к гидроагрегатам.

Пульт управления смонтирован в виде отдельного блока и предназначен для управления работой приводов бурового агрегата,

маслонасосов и электродвигателя маслостанции и состоит из сварного остова, на котором смонтирована панель с кнопками и рукоятками пусковой, управляющей и регулирующей аппаратуры.

Технические данные установки УЛБ-130

Глубина бурения, м	До 130
Диаметр бурения, мм	До 200
Высота бурения (от полка), мм	600
Угол наклона скважины к горизонту, градус	±10
Максимальный внутренний диаметр шахтного колодца, м	2,5
Диаметр обсадных труб, мм	168
Число оборотов обсадных труб (регулирование бесступенчатое), об/мин	0,5—9
Диаметр шнеков, мм	150
Число оборотов шнеков (регулирование бесступенчатое), об/мин	До 165
Привод вращателей и подачи	Гидравлический
Ход подачи бурового агрегата, мм	1000
Усилие подачи, 10Н	7450
Усилие для извлечения обсадных труб, 10Н	13 000
Скорость подачи (регулирование бесступенчатое), м/мин:	
рабочая	2
маневровая и обратная	11,79
Привод насосов маслостанции	Электрический
Мощность электродвигателя, кВт	40
Габариты установки (по буровому агрегату), мм:	
длина	1350
ширина	800
высота	1250
Масса установки (без инструмента), кг	2150

Строительство шахтного железобетонного колодца глубиной 8,5 м для сооружения лучевых скважин осуществлялось методом опускного колодца. Опалубка была металлической, сборно-разборной.

Буровой агрегат опускали в шахтный колодец на подготовленный полок с помощью крана, выставляли его по устью будущей скважины и раскрепляли домкратами в стенки колодца. Маслостанцию устанавливали на поверхности в непосредственной близости от колодца. Центробежный насос для откачки воды размещали на предохранительном полке колодца.

Для защиты от подтопления грунтовыми водами здания цеха связи из шахтного колодца на глубине 6,5 м сооружены три лучевые горизонтальные скважины диаметром 200 мм и длиной по 54 м. Последовательность сооружения каждой скважины была следующей. Вначале производилось бурение лучевой скважины, затем извлечение из нее колонны шнеков. Далее в скважине устанавливалась фильтровая колонна, после чего извлекались рабочие обсадные трубы.

Бурение лучевой скважины осуществлялось рабочей колонной, состоящей из шнека забойного с буровым наконечником и трубы забойной с режущим башмаком. С помощью бурового наконечника производилось бурение скважины диаметром 150 мм. Режущий

башмак расширял лучевую скважину до диаметра 200 мм. Механическая скорость проходки лучевой скважины составляла 0,6 м/мин, а коммерческая — 20 м в смену готовой скважины.

После бурения две лучевые скважины (1 и 2) оборудовались проволочными фильтрами диаметром 135 мм и одна скважина (3) — стеклопластиковыми фильтрами диаметром 100 мм. Последние изготовлялись лабораторией интенсификации водоотбора института ВИОГЕМ.

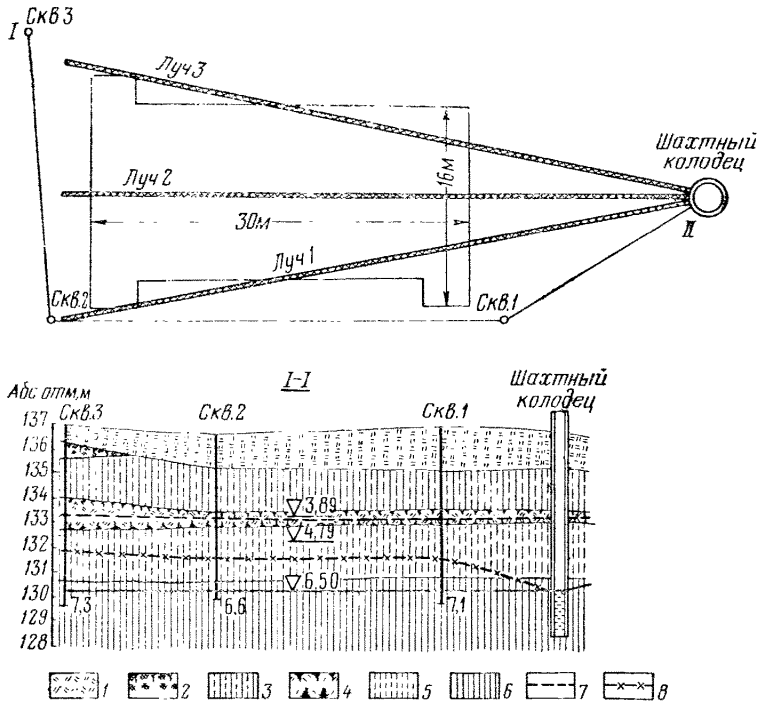


Рис. 63. План расположения горизонтальных скважин и гидрогеологический разрез на территории цеха связи.

1 — насыпной грунт; *2* — почвенно-растительный слой; *3* — суглинок лёссовидный желто-бурый; *4* — ископаемая почва; *5* — суглинок лёссовидный палево-желтый; *6* — суглинок светло-коричневый; *7* — статическое положение уровня воды; *8* — положение уровня воды после периодической и непрерывной работы дренажа в течение 45 сут. Заглубление от поверхности: пола подвала 3,89 м; подошвы фундамента 4,79 м; лучевых скважин 6,50 м

Сооружение лучевых скважин осуществлялось на протяжении 40 дней с перерывами от 3 до 15 дней. После того, как они были готовы, из шахтного колодца производилась непрерывная откачка дренажных вод в течение 7 сут. Для наблюдения за снижением уровня грунтовых вод на участке расположения опытно-промышленного дренажа пробурено пять наблюдательных скважин (рис. 63). Дренируемые грунты здесь представлены комплексом лёссовидных суглинков, подстилаемых на глубине 10—11 м водоупорными красно-бурыми глинами. Водопроницаемость суглинков в среднем составляет около 0,5 м/сут.

Перед началом работы лучевого дренажа глубина залегания уровня грунтовых вод на опытном участке была равна 4 м. Заглубление лучевых скважин под их уровень составляло 2,5 м. В первый день работы дренажа максимальный расход лучевой скв. 2 достигал 41,5 м³/сут. При совместной работе лучевых скважин в течение 7 сут суммарный их дебит изменялся от 89 до 34 м³/сут, а по отдельным скважинам он колебался от 28,5—34,6 до 8,5—13,5 м³/сут.

Снижение уровня грунтовых вод на опытном участке дренажа началось еще при периодической работе одной средней лучевой скв. 2. Так, за 14 дней оно составило у внешних углов здания (в наблюдательных скв. 1—3) 0,75—0,80 м и за ее пределами (в наблюдательных скв. 4, 5) — 0,30 м.

Необходимый дренажный эффект работы лучевого дренажа на опытном участке был достигнут при непрерывной работе трех лучевых скважин в течение 7 сут, когда уровень грунтовых вод у углов здания снизился на 1,3—1,4 м и находился ниже основания фундамента здания цеха связи на глубине 5,0—5,13 м (см. рис. 63). За этот период на расстоянии 12 м от здания он снизился на 0,95 м.

Наблюдения показали, что при работе лучевого дренажа выноса из лучевых скважин суглинков с дренажной водой не происходило.

Таким образом, положительные результаты испытаний разработанных технических средств сооружения лучевых скважин и хорошие показатели работы лучевого дренажа на опытно-промышленном участке позволяют рекомендовать данный способ дренажа для широкого внедрения в практику борьбы с подтоплением построенных зданий и сооружений.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ДРЕНАЖЕЙ ПРИ ЗАЩИТЕ ОТ ПОДТОПЛЕНИЯ СООРУЖЕНИЙ

Вблизи описываемой выше территории города на участке с высоким положением уровня грунтовых вод построены очистные сооружения города. Для предотвращения их от подтопления построен горизонтальный дренаж.

Гидрогеологическими исследованиями института «Кривбасспроект», проведенными с целью обоснования мероприятий по борьбе с подтоплением площадки очистных сооружений, установлено, что водовмещающие лёссовидные суглинки в разрезе отличаются как по внешнему виду, так и по водопроницаемости. Наиболее водопроницаемыми являются светло-желтые суглинки, а подстилающие их желто-бурые и бурые суглинки обладают более плотным сложением и значительно меньшим коэффициентом фильтрации. Мощность водоносного горизонта здесь колеблется в пределах 9—10 м. Средний коэффициент фильтрации по данным трех опытных откачек из скважин равен 0,39 м/сут, а из шурфов, расположенных на прилегающих участках, — 0,68 м/сут. Грунтовые воды залегают на глубине от 1,8 до 2,5 м от поверхности.

Стационарными наблюдениями за уровнем грунтовых вод установлено, что амплитуды сезонных колебаний уровня по скважинам

на протяжении годичного цикла наблюдений неодинаковы. В удалениях от очистных сооружений, т. е. в природных условиях, они не превышают 0,3—0,5 м. В скважинах, расположенных вблизи временных источников питания, амплитуда колебания уровня достигает 1,5—2,0 м.

Во второй половине 1966 г. на площадке очистных сооружений начал функционировать горизонтальный дренаж несовершенного

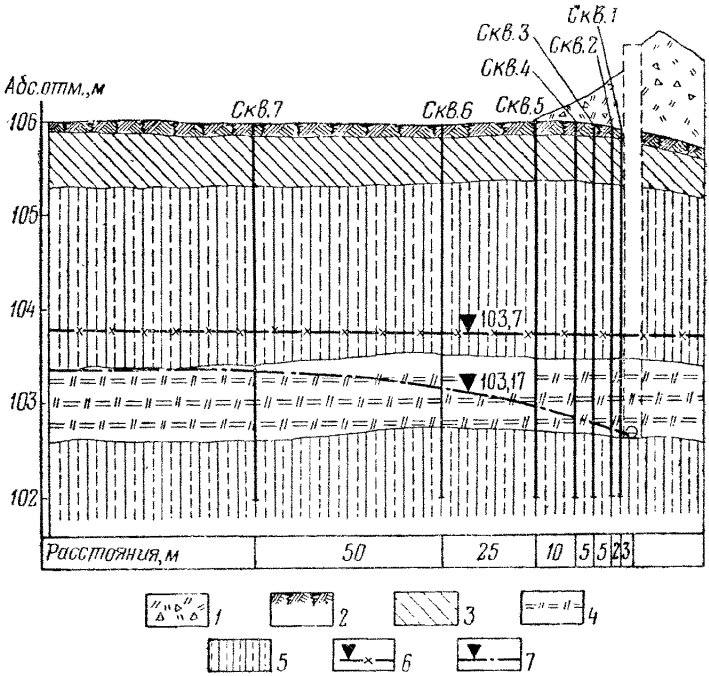


Рис. 64. Гидрогеологический разрез территории очистных сооружений.
1 — насыпной грунт; *2* — почвенный слой; *3* — суглинок желто-бурый; *4* — суглинок темно-бурый; *5* — суглинок лёссовидный палево-желтый; *6* — положение уровня грунтовых вод на 1965 г.; *7* — то же, на май 1969 г.

типа, дренажные трубы которого были уложены на 0,8—0,9 м ниже уровня грунтовых вод. Он состоит из керамической трубы диаметром 250 мм, уложенной на щебеночной подготовке, и четырехслойной фильтрующей обсыпки, представленной (снизу вверх) слоем сортированного щебня, крупно-, мелко- и разнозернистого песка.

Для оценки эффективности работы горизонтального дренажа пробурено 7 наблюдательных скважины глубиной по 4 м, расположенных по поперечнику на расстоянии 3, 5, 10, 15, 25, 50 и 100 м от дрены (рис. 64). Кривая депрессии, построенная по состоянию на май 1969 г., показала, что нависание уровня воды у дрены отсутствует. Наибольшее снижение уровня воды (0,39—0,69 м) наблюдается на расстоянии до 25 м от дрены. Разовый замер водоприто-

ков к дрене показал, что удельный расход на 1 м длины дрены составляет 0,069 м/сут.

Произведем расчеты расхода дренажа и депрессионной кривой по формулам и сопоставим их результаты с фактическим наблюденным расходом и понижением уровня воды в районе действия дренажа. Расчет кривой депрессии производим по формуле (30). Для выполнения расчета принимаем следующие исходные данные:

$S_0 = 0{,}8$ м — загубление дрены под уровень грунтовых вод;
$k = 0{,}5$ м/сут — коэффициент фильтрации водоносного пласта;
$\mu = 0{,}05$ — водоотдача лёссовидных суглинков;
$h_{ср} = 4{,}0$ м — средняя мощность водоносного горизонта;
$W = 0{,}0002$ м/сут — величина инфильтрации;
$a = kh_{ср}/\mu = (0{,}5 \cdot 4{,}0)/0{,}05 = 40$ м²/сут — коэффициент уровнепроводности водоносного пласта;
$b = 0{,}5$ м — половина ширины траншеи;
$m = 3{,}2$ м — величина, учитывающая несовершенство дрены;
$t = 450$ сут — время работы дренажа.

Вначале определяем снижение уровня воды на расстоянии $x = 3$ м от дрены.

$$z = \frac{x-b}{2\sqrt{at}} = \frac{3-0{,}5}{2\sqrt{40 \cdot 450}} = 0{,}009;$$

$$\alpha = \frac{1}{m} = \frac{1}{3{,}2} = 0{,}31;$$

$$\lambda = \alpha \operatorname{th} \alpha b = 0.31 \operatorname{th} \frac{0{,}5}{3{,}2} = 0{,}037;$$

$$\beta = \lambda \sqrt{at} = 0{,}037 \sqrt{40 \cdot 450} = 5{,}0.$$

Значения R_1 и R_2 определяем по графикам на рис. 53, 54: $R_1(\beta, z) = 0{,}86$, $R_2(z) = 0{,}01$.

$$S = 0{,}80 \cdot 0{,}86 - \frac{0{,}0002 \cdot 450}{0{,}05} \cdot 0{,}01 = 0{,}68 \text{ м}.$$

Аналогично определяем снижение уровня воды для x, равного 5, 10, 15, 25 и 32 м. Результаты расчетного и наблюденного снижений уровня грунтовых вод приведены в табл. 31.

Сопоставляя расчетные и фактические величины снижения уровня воды, видим, что по расчетным данным радиус влияния равен 32 м, а по натурным наблюдениям он более 50 м.

Таблица 31

Сопоставление расчетных и фактических данных снижения уровня грунтовых вод на территории очистных сооружений

Расстояние между наблюдательной скважиной и дреной, м	Снижение уровня воды, м	
	расчетное	фактическое
3	0,68	0,66
5	0,60	0,63
10	0,59	0,56
15	0,51	0,50
25	0,15	0,39
32	0	—
50	—	0,19
100	—	0

Приток воды, поступающий к горизонтальной дрене с одной стороны на 1 м ее длины, определяем по формуле (31)

$$q_0 = k\boldsymbol{h}_{\text{ср}}\left[S_0\lambda R_3(\beta) + 1{,}13\frac{Wt}{\mu\sqrt{at}}\right],$$

где $R_3(\beta) = 0{,}12$ — функция, зависящая от β и определяемая по графику.

$$q_0 = 0{,}5 \cdot 4{,}0 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}037 \cdot 0{,}12 + 1{,}13\frac{0{,}0002 \cdot 450}{0{,}05 \cdot 40 \cdot 450} = 0{,}037 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Приток воды, поступающий с двух сторон на 1 м длины дрены, $q_0 = 0{,}037 \cdot 2 = 0{,}074$ м³/сут. Отношение фактического расхода дренажа к расчетному составит $q_{\text{набл}}/q_{\text{расч}} = 0{,}069/0{,}074 = 0{,}94$.

Результаты обследований показали, что описанная выше конструкция горизонтального дренажа и степень заглубления дренажных труб обеспечивают защиту очистных сооружений от подтопления грунтовыми водами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Условия формирования режима грунтовых вод на застраиваемых территориях являются весьма сложными и многообразными. Глубокое их изучение требует постановки на застраиваемых территориях комплексных длительных натурных наблюдений за режимом уровня, температуры и химического состава воды, динамикой влажности и солевым составом грунтов зоны аэрации, влажности и температуры воздуха и т. д.

В данной работе рассмотрены лишь основные факторы, под влиянием которых происходит формирование режима грунтовых вод на застраиваемых территориях, вскрыты наиболее общие закономерности их формирования.

Режим грунтовых вод на застраиваемых территориях определяется их геолого-гидрогеологическими, геоморфологическими и климатическими условиями и степенью влияния инженерно-строительной и хозяйственной деятельности человека.

К основным источникам обводнения грунтов на застраиваемых территориях относятся: усиленная инфильтрация атмосферных вод за счет ухудшения условий поверхностного стока при инженерном освоении территории; утечки технических, хозяйственных вод и промстоков при эксплуатации зданий и сооружений; инфильтрация из каналов и хвостохранилищ; конденсация валаги под зданиями и асфальтовыми покрытиями; накопление влаги под зданиями и покрытиями в результате уменьшения величины испарения. Существенное влияние на обводнение грунтов оказывает также подпор грунтовых вод водами хвостохранилищ и барражирование их фундаментами зданий и сооружений.

Рассмотренные общие закономерности формирования режима грунтовых вод на застраиваемых территориях показывают, что подъем их уровня происходит до определенной глубины, на которой наступает динамическое равновесие между приходной и расходной частью водного баланса. Установление таких глубин для всех географических зон страны явится основой при проектировании мероприятий по предупреждению зданий и сооружений от подтопления грунтовыми водами и борьбе с ним на потенциально обводняемых застраиваемых территориях.

Установление скорости подъема уровня грунтовых вод и величины их инфильтрационного питания на застраиваемых территориях в различных геолого-гидрогеологических, климатических и искусственно создаваемых условиях могут быть использованы при составлении прогноза подтопления территорий. Для этих же целей найдут применение как типизация режима грунтовых вод застраиваемых территорий, так и классификация застраиваемых территорий по степени их потенциальной обводняемости.

Данные по изучению эффективности работы построенных дренажей на подтопляемых территориях имеют не только научное, но и практическое значение для решения задач при выборе способов защиты объектов от подтопления грунтовыми водами.

Приведенные в работе гидрогеологические методы расчета защитных дренажей позволяют учитывать наиболее важный расчетный параметр подтопления застраиваемых территорий — величину инфильтрационного питания грунтовых вод.

В работе показана возможность составления прогноза подъема уровня грунтовых вод с учетом величины их инфильтрационного питания как аналитическим методом, так и путем математического моделирования. При выполнении прогноза вторым методом использовалась установленная закономерность изменения инфильтрационного питания грунтовых вод с глубиной залегания их уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов С. К. Борьба с подтоплением промплощадок. М., Стройиздат, 1949, 95 с.

2. Абрамов С. К. Проблема подтопления промышленных площадок и городских территорий и пути ее решения. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 3—5.

3. Абрамов С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Стройиздат, 1973, 234 с.

4. Абрамов С. К., Муфтахов А. Ж., Донской Г. В. Методы прогноза подтопления промплощадок и городских территорий и фильтрационных расчетов защитных дренажей. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 9—12.

5. Абрамов И. Б., Смирнова А. Ф. Засоленность почво-грунтов орошаемых массивов юга УССР и ее изменение под влиянием орошения. — В кн.: Материалы межвед. совещ. по мелиор. гидрогеологии и инженерной геологии. Вып. 1. Минск, 1969, с. 81—83.

6. Абрамов С. П., Дзекцер Е. С., Гавшина З. П. О классификации территорий промышленных предприятий с мокрым технологическим процессом по их потенциальной обводняемости. — «Промышленное строительство», 1972, № 9, с. 34—37.

7. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. — В кн.: Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М., 1956, с. 85—441.

8. Ананьев В. П. Режим влажности и прочности лёссовых грунтов в основаниях зданий и сооружений. — «Изв. высш. учеб. зав. Геология и разведка», 1969, № 10, с. 123—126.

9. Ананьев В. П. Самоподтопление территорий городов, расположенных на лёссовых грунтах. — В кн.: Инженерно-геологические проблемы градостроительства. М., 1971, с. 105—106.

10. Анатольевский П. А., Разумов Г. А. Горизонтальные водозаборные скважины. М., «Недра», 1970, 199 с.

11. Аннилов В. Е. К вопросу оценки влияния застройки территории на формирование режима грунтовых вод. — В кн.: Материалы IV науч.-техн. конф., посвященной десятилетию института ВИОГЕМ. Белгород, 1969, с. 160—165.

12. Аннилов В. Е. О влиянии рельефа на формирование грунтовых вод в лёссовидных грунтах на застраиваемых территориях. — В кн.: Материалы Всесоюз. совещ. Основные направления совершенствования гидрогеологических изысканий в строительстве. М., 1970, с. 129—130.

13. Аннилов В. Е. Особенности формирования режима уровней грунтовых вод на застроенных территориях гражданскими зданиями и промышленными сооружениями. — «Труды ин-та ВИОГЕМ», 1971, вып. 14, с. 60—68.

14. Аннилов В. Е. Изменение влажности грунтов на застраиваемых территориях. — «Промышленное строительство», 1971, № 4, с. 22—24.

15. Анпилов В. Е. Опыт моделирования по методу Либмана действия горизонтальных дрен на подтапливаемой территории г. Кривого Рога. — В кн.: Материалы VI науч.-техн. конф. ин-та ВИОГЕМ. Белгород, 1971, с. 64—66.

16. Анпилов В. Е, Чуйко В. М. Прогноз повышения уровня грунтовых вод в лёссовидных грунтах на застраиваемых территориях. — «Промышленное строительство», 1971, № 8, с. 21—24.

17. Анпилов В. Е. Исследование засоленных лёссовидных грунтов и воды в естественных и нарушенных застройкой условиях. «Труды ин-та ВИОГЕМ» 1971, вып. 16, с. 120—127.

18. Анпилов В. Е. Оценка инфильтрационного питания грунтовых вод на промышленной площадке с применением моделирования. — «Промышленное строительство», 1972, № 3, с. 21—24.

19. Анпилов В. Е. Натурные исследования эффективности вакуум-колодцев для защиты от подтопления подвальных помещений. — «Промышленное строительство», 1972, № 9, с. 38—39.

20. Анпилов В. Е. Опыт изучения режима и баланса грунтовых вод на промплощадке и жилпоселке Криворожского СевГОКа.. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 74—77.

21. Анпилов В. Е. Оценка параметра подтопления промышленных площадок на основе анализа грунтовых вод. — «Промышленное строительство», 1973, № 10, с. 20—23.

22. Анпилов В. Е. Типизация промплощадок горнорудных предприятий по степени их потенциальной обводняемости. — «Осушение месторождений, специальные горные работы, рудничная геология, маркшейдерское дело», 1974, вып. 20, с. 45—48.

23. Анпилов В. Е., Пономаренко Ю. В., Чуйко В. М. Результаты натурных исследований эффективности дренажей при осушении слабопроницаемых грунтов на подтапливаемых территориях. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 71—74.

24. Анпилов В. Е., Луговой В. П., Жаркова В. Ф. Результаты обследования обводненной промплощадки Соколовско-Сарбайского ГОКа и перспективные способы ее осушения. — В кн.: Осушение месторождений, специальные горные работы, рудничная геология. Белгород, 1973, с. 37—43.

25. Бабкин П. Ф. Причины повышения уровня грунтовых вод в населенных пунктах. — «Труды ВСЕГИНГЕО», 1964, № 10, с. 191—193.

26. Белявский А. Я., Елисеев М. П. Баланс грунтовых вод и условия формирования их химического состава на территории лёссового плато Украинской ССР. — «Геологічный журнал АН УССР», 1952, т. XII, вып. 2, с. 73—74.

27. Беспалов П. М. Исследование эффективности работы горизонтальных дренажных скважин применительно к осушению карьеров. — В кн.: Материалы Всесоюз. совещ. по совершенствованию способов и средств защиты карьеров от подземных вод в сложных гидрогеологических условиях. Белгород, 1965, с. 50—61.

28. Биндеман Н. Н. Прогноз повышения уровня грунтовых вод

и образование верховодки на участках промышленных предприятий. — «Труды ВНИИ ВОДГЕО», 1960, № 3, с. 4—36.

29. Биндеман Н. Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. М., Госгеолтехиздат, 1963, 203 с.

30. Бондаренко В. И. Обводнение грунтов на застроенной территории. — В кн.: Изыскание, проектирование и строительство в сложных инженерно-геологических условиях Волгограда. Волгоград, 1966, с. 36—39.

31. Борисов Ю. П., Пилатовский В. П., Табаков В. П. Разработка нефтяных месторождений горизонтальными и многозабойными скважинами. М., «Недра», 1964, 154 с.

32. Бочевер Ф. М. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. М., «Недра», 1968, 325 с.

33. Булдей В. Р. Электромоделирование и технические средства осушения месторождений полезных ископаемых. Киев, «Наукова думка», 1968, 306 с.

34. Бурксер Е. С. Засоленность четвертичных отложений южных районов Юга УССР. — «Гидротехнические материалы», 1954, т. 22, с. 70—74.

35. Вевиоровская М. А., Кравченко И. П., Румянцев С. А. Методы аналогий применительно к фильтрационным расчетам. М. Изд-во МГУ, 1962, 256 с.

36. Веригин Н. Н. О течениях грунтовых вод при местной усиленной инфильтрации. — «Докл. АН СССР», 1950, т. LXX, № 5, с. 777—780.

37. Веригин Н. Н. О подъеме уровня грунтовых вод под влиянием усиленной инфильтрации. — «Изв. АН СССР», 1949, № 11, с. 1723—1734.

38. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л., Гидрометеоиздат, 1967, 198 с.

39. Воскресенский А. М. Влияние промышленного строительства на режим грунтовых вод. — В кн.: Геология и минеральные ресурсы Нижнего Дона и Нижнего Поволжья. Ростов-на-Дону, 1964, с. 186—196.

40. Воскресенский А. М. Режим грунтовых вод в условиях промышленной застройки террас степных рек. — «Труды Новочеркасского инж.-мелиор. ин-та», 1964, т. 9, с. 114—115.

41. Воскресенский А. М. Изменение влагозапаса грунтов зоны аэрации надпойменных террас реки Тузлов при их промышленной застройке. — «Труды Новочеркасского инж.-мелиор. ин-та», 1968, № 2, с. 153—159.

42. Высоцкий Г. Н. Водоразделы и увлажнение степей. М., 1937, 20 с. (ВАСХНИЛ).

43. Галкин В. Н. Об изменении режима грунтовых вод на промышленных площадках. — «Промышленное строительство», 1961, № 11, с. 18—19.

44. Гавшина З. П. Изменение физико-механических свойств грунтов в связи с обводнением строительных площадок. — «Промышленное строительство», 1967, № 6, с. 12—14.

45. Гаджиев Р. А. Изменение режима уровней грунтовых вод Бакинского амфитеатра и его причины. — «Докл. АН АзССР», 1967, № 10, с. 25—30.

46. Гончар Г. Я. Грунтовые воды южных городов Украины и вопросы борьбы с ними. — В кн.: Инженерно-геологические проблемы градостроительства. М., 1971, с. 54—55.

47. Горловский Б. А., Гохфельд Б. Л. О характере деформаций сооружений ТЭЦ в Саратове в связи с ее обводнением. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1964, № 5, с. 15—17.

48. Горловский Б. А., Шехтман Л. М. Повышение уровня грунтовых вод и изменение их химического состава в процессе эксплуатации промышленных предприятий. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1966, № 5, с. 34—35.

49. Горловский Б. Л., Шехтман Л. М. Организация гидрогеологической службы на площадках тепловых электростанций. М., 1971, 43 с. (Информэнерго).

50. Грыза А. А., Смирнов Р. А. Причины подъема уровня грунтовых вод в г. Одессе. — В кн.: Инж. изыскания в строительстве. Киев, 1971, с. 71—78.

51. Гидрогеологические изыскания на застроенных территориях. Киев, «Будивельник», 1973, 146 с. Авт.: Р. А. Смирнов, В. И. Богданов, А. А. Грыза, А. Г. Солдак.

52. Дегтярев Б. М. Подтопление территорий предприятий грунтовыми водами. — «Промышленное строительство», 1969, № 6, с. 13—14.

53. Дегтярев Б. М. Необходимые условия для прогноза подтопления промышленных территорий подземными водами. — «Промышленное строительство», 1970, № 8, с. 30—31.

54. Денисов Н. Я. Особенности промышленного строительства на связных грунтах зоны аэрации. — «Промышленное строительство», 1963, № 1, с. 27—32.

55. Денисов Н. Я. К оценке гидрогеологической роли местных затенений в степи. — «Почвоведение», 1949, № 6, с. 345—347.

56. Дерягин Б. В., Колясов В. Е. Об основных закономерностях движения воды в почве при различном увлажнении. — «Гидротехника и мелиорация», 1950, № 2, с. 3—12.

57. Дзекцер Е. С. Некоторые вопросы методики изучения водного режима подтапливаемых территорий. — «Труды ПНИИИС», 1971, т. 10, с. 45—61.

58. Дзекцер Е. С. Некоторые вопросы исследования баланса влаги в зоне аэрации на подтапливаемых территориях. — В кн.: Инж. изыскания в строительстве. Киев, 1972, с. 35—41.

59. Дзибалов Ю. И., Жеребятьев И. Ф., Лукьянов А. Т. Статический электроинтегратор СЭИ-3. Алма-Ата, 1972, 95 с. (КазГУ).

60. Дидкин В. А., Прудников А. П. Справочник по операционному исчислению. М., Физматгиз, 1965, 465 с.

61. Забейда М. И., Твердохлебов И. П., Ярошенко О. С. Формирование уровней грунтовых вод на промплощадке Стойленского ГОКа под влиянием хвостохранилищ, потерь бытовой и технической воды и эксплуатации водозабора. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 77—79.

62. Каменский Г. Н. Гидродинамические принципы изучения режима

грунтовых вод. — В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1953, с. 4—12.

63. Каплан В. М. О формировании грунтовых вод на территориях промплощадок в районах водоразделов степной Украины. — «Труды ВНИИ ВОДГЕО», 1972, вып. 38, с. 127—130.

64. Каплан В. М. Особенности развития подтопления территорий промышленных предприятий с «сухой» технологией. — «Реферативный сб. Инж. изыскания в строительстве», 1973, вып. 1 (19), с. 5—8.

65. Кац Р. С. Распределение водорастворимых солей в лёссах юга Украины в зависимости от рельефа. — «Почвоведение», 1935, № 4, с. 604—614.

66. Киселев П. А. Исследование баланса грунтовых вод по колебаниям их уровня. Минск, 1961, 202 с.

67. Киссин И. Г. Подтопление застроенных территорий в комплексе антропогенных воздействий на подземные воды. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 29—31.

68. Киссин И. Г., Пахомов С. И. О формировании агрессивности грунтовых вод в связи со строительством. — В кн.: Проблемы инженерной геологии Северного Кавказа. Вып. 2, Ставрополь, 1969, с. 91—95.

69. Ковалевский В. С. Некоторые закономерности влияния климатических факторов на режим подземных вод. — «Разведка и охрана недр», 1960, № 12, с. 36—43.

70. Ковалевский В. С. Условия формирования и прогнозы естественного режима подземных вод. М., «Недра», 1973, 149 с.

71. Козаченко Н. А., Твердохлебов И. П. О защите фундаментов промышленных сооружений от подземных вод. — В кн.: Материалы III конф. по обмену опытом в научных исследованиях и проектировании осушения месторождений полезных ископаемых. Белгород, 1969, с. 121—125.

72. Колодяжная А. А. Принцип составления классификации промпредприятий по условиям подтопления. — В кн.: Проблемы прогнозирования повышения уровня грунтовых вод на застроенных территориях и борьбы с их подтоплением. Белгород, 1972, с. 27—29.

73. Коноплянцев А. А. Некоторые вопросы изучения режима подземных вод на территории СССР. — В кн.: Вопросы изучения и прогнозы режима подземных вод. М., 1964, с. 5—17.

74. Коноплянцев А. А., Ковалевский В. С., Семенов С. М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. М., Госгеолтехиздат, 1963, 231 с.

75. Константинов А. Р. Испарение в природе. Л., Гидрометеоиздат, 1963, 590 с.

76. Котлов Ф. В., Брашнина И. А., Сипягина И. Е. Город и геологические процессы. М., «Наука», 1967, 226 с.

77. Круглов И. Н. Грунтовые воды одного из водоразделов Запорожской степи и динамика повышения их уровня под влиянием промышленных сооружений. — «Науч. зап. Московского ин-та инженеров водного хозяйства», 1956, т. 19, с. 57—61.

78. Круглов И. Н. Режим осадок сооружений, основанных на лёссовых породах, в связи с динамикой формирования грунтовых вод. — В кн.: Инженерно-геологические свойства лёссовых пород. М., 1966, с. 81—94.

79. Крутов В. И., Галушко А. М., Руденко А. А. Влияние подъема уровня грунтовых вод на просадку застроенных территорий. — «Промышленное строительство и инженерные сооружения», 1972, № 3, с. 27—28.

80. Куделин Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. М., Изд-во МГУ, 1960, 344 с.

81. Кущ П. Е. О закономерностях вертикального перемещения влаги в породах зоны аэрации. — «Изв. высш. учеб. зав. Геология и разведка», 1969, № 10, с. 153—154.

82. Лебедев А. В. Методы изучения баланса грунтовых вод. М., Госгеолтехиздат, 1963, 192 с.

83. Лебедев А. В., Ярцева Е. Н. Оценка питания и баланса грунтовых вод по данным о режиме их в естественных пунктах Юго-Востока Европейской части СССР и Северного Казахстана. М., «Недра», 1967, 172 с.

84. Лебедев А. Ф. Почвенные и грунтовые воды. М., Изд.-во АН СССР, 1936, 316 с.

85. Лисицын К. И. О законах распределения пресных и солевых вод в сухих суглинистых степях в связи с рельефом. Новочеркасск, тип. «Знание», 1927, 32 с.

86. Лукин В. А. Об увеличении влажности грунтов оснований как следствие застройки территории. — «Промышленное строительство», 1962, № 4, с. 44—45.

87. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М., «Высшая школа», 1967, 599 с.

88. Ляльк о В. И., Шнейдерман Г. А. Формирование и прогноз ресурсов подземных вод засушливых районов. Киев, «Наукова думка», 1965, 187 с.

89. Маркин Б. П. О послепостроечном увеличении влажности лёссовых грунтов оснований в условиях сухого климата. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1970, № 4, с. 21—22.

90. Маркин Б. П. К вопросу о классификации территорий промышленных предприятий по их потенциальной обводняемости. — «Промышленное строительство», 1973, № 10, с. 23—25.

91. Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем. М., «Колос», 1970, 437 с. Авт.: С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Б. А. Глейзер, Г. А. Разумов, В. К. Рудаков, В. С. Саркисян, Б. С. Шержуков.

92. Михеев Б. М. О причинах разрушения зданий на территории Грозненских промыслов. — «Строительная промышленность», 1930, № 8—9, с. 632—635.

93. Муфтахов А. Ж. Об оценке инфильтрации на промплощадках. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1969, № 4, с. 36—38.

94. Мясникова Н. А. Зона аэрации полуаридных областей. М., «Наука», 1970, 199 с.

95. Николаев Н. С., Козлов Э. С., Полгородник Н. П. Аналоговая математическая машина УСМ-1. М., Машгиз, 1962, 294 с.

96. Панов Ю. И. Некоторые случаи образования верховодки на застроенных территориях. — «Бюл. науч.-техн. информ. Гидропроекта», 1960, № 10, с. 73—76.

97. Писарик М. А. К вопросу об изучении причин подтопления городских территорий. — В кн.: Материалы IV науч. конф. молодых геологов Белоруссии. Минск, 1971, с. 189—190.

98. Полубаринова-Кочина П. Я. О наклонных и горизонтальных скважинах конечной длины. — «Прикладная математика и механика», 1956, т. 20, с. 60—64.

99. Пусков В. И. О влажностном режиме грунтов на строительных площадках эксплуатационных зданий. — «Изв. высш. учеб. зав. Строительство и архитектура», 1961, № 3, с. 134—141.

100. Резник Я. М. Изменение физико-механических характеристик лёссовых грунтов Одесского региона в связи с подтоплением. — «Реферативный сб. Инженерные изыскания в строительстве», 1973, вып. 1 (19), с. 20—24.

101. Разумов Г. А., Плотников С. Б. Опыт устройства лучевых водозаборов. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1974, № 9, с. 8—11.

102. Рекомендации по изучению режима и баланса грунтовых вод на подтапливаемых промышленных площадках. М., 1973, 96 с. (ВНИИ ВОДГЕО).

103. Рекомендации по применению современных математических методов к решению гидрогеологических задач при инженерных изысканиях. М., Стройиздат, 1974, 135 с. Авт.: В. С. Зильберг, И. Я. Пантелеев, В. Г. Сидорова, О. В. Слинко, И. Е. Чижик.

104. Рудаков В. К. Некоторые задачи плановой установившейся фильтрации на промплощадках. — В кн.: Материалы VI науч.-техн. конф. ин-та ВИОГЕМ. Белгород, 1971, с. 30—32.

105. Рыжков Е. М. Изменение влажности в результате тепловлагопереноса в основаниях зданий и сооружений. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1971, № 1, с. 14—15.

106. Сагимбаев С. С., Баркалов И. А. Подтопление г. Джесказгана грунтовыми водами в связи с созданием водохранилища на р. Кенгир. — В кн.: Материалы I респ. совещ. по изыскан. и исслед. в Казахстане 1965. Алма-Ата, 1966, с. 117—121.

107. Сардаров Э. И., Кязимов С. И. Влияние подтопления промышленных площадок г. Сумгаита на просадочные деформации грунтов. — «Труды Бакинского филиала ВНИИ ВОДГЕО», 1964, вып. 1, с. 88—91.

108. Сафарян А. И. Деформация зданий и сооружений на территории г. Тбилиси. — В кн.: Сборник трудов совещания по строительству на лёссовых грунтах. Днепропетровск — Киев, 1960, с. 81—84.

109. Сенокосов В. П. Опыт прогнозирования повышения уровня грунтовых вод после строительства. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1973, № 2, с. 28—29.

110. Синцов И. Ф. Гидрогеологическое описание Одесского градоначальства. — «Зап. Новороссийского об-ва естествоиспытателей». Одесса, 1894, с. 121—125.

111. Сипягина И. Е. Геологические процессы и явления на территории Ленинграда, вызванные деятельностью человека. — В кн.: Инж.-геологические процессы и явления, их значение для строительства. М., 1963, с. 27—34.

112. Соколов А. А. Некоторые данные о влажности грунтов на застроенных территориях. — «Изв. высш. учеб. зав. Строительство и архитектура» 1967, № 8, с. 19—23.

113. Справочное руководство гидрогеолога. «Недра», 1967, 816 с.

114. Сургучев М. Л., Меркулов В. П. Определение дебита и эффективности наклонных скважин. — «Нефтяное хозяйство», 1960, № 2, с. 35—41.

115. Табаков В. П. Определение дебитов кустов скважин, откачивающихся горизонтальными участками стволов в плоском пласте. — «НТС по добыче нефти», 1961, № 13, с. 4—25.

116. Тарапон А. Г. Моделирование нестационарных полей на интеграторах ЭИНП. Киев, 1970, 151 с. (Ин-т математики АН УССР).

117. Тихомиров Е. Н. Прогноз повышения уровня грунтовых вод на промышленных площадях путем статистической обработки данных режимных наблюдений. — «Промышленное строительство», 1973, № 11, с. 24—26.

118. Туровская А. Я. Об обводнении застроенных площадок на лёссовых грунтах. — В кн.: Геотехника в строительстве. Вопросы строительства на просадочных грунтах. М., 1966, вып. 1, с. 54—61.

119. Указания по определению засоленности грунтов. М., 1956. 59 с. (ВНИИ ВОДГЕО).

120. Федоров В. И. О режиме влажности глинистых грунтов вблизи фундаментов построенных зданий. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1960, № 4, с. 18—19.

121. Федоров В. И. О причинах изменения режима влажности глинистых грунтов в связи со строительством зданий и сооружений. — «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1964, № 2, с. 10—12.

122. Федоров В. И. Вопросы теории переноса влаги и формирования режима влажности грунтов в зоне аэрации на застроенных территориях. — «Сб. науч. работ Дальневосточного ин-та ПромстройНИИпроект», 1970, вып. 13, с. 104—111.

123. Хрусталев Л. Н. Температурный режим вечномерзлых грунтов на застроенной территории. М., «Наука», 1971, 167 с.

124. Черный Б. И. Инфильтрация и просадочность при строительстве гражданских зданий на увлажненных лёссовых основаниях. — В кн.: Вопросы механики грунтов и строительства на лёссовых основаниях. Грозный, 1970, с. 142—156.

125. Чубаров В. Н. Метод оценки питания грунтовых вод путем исследования влагопереноса в зоне аэрации (ОНТИ—ВИЭМС). «Информ. сообщ. Сер. Гидрогеология и инженерная геология», № 4, 1968, 9 с.

126. Чуйко В. М., Аннилов В. Е. Оценка эффективности работы несовершенного горизонтального дренажа при осушении лёссовидных грунтов. — В кн.: Материалы межвед. совещ. по мелиор. гидрогеологии и инженерной геологии. Вып. 1. Минск, 1969, с. 234—235.

127. Шестаков В. М. Теоретические основы оценки подпора, водопонижения и дренажа. М., Изд-во МГУ, 1965, 233 с.

128. Шмидт М. А. Режим грунтовых вод Узбекистана. Изд-во Комитета наук УзССР, 1938, 104 с.

129. Aitchson G. D., Hofmes J. W. Suction profiles in soits beneath covered and uncovered areas. — «Compt. rend. 5 Congr. internat. mecan. sols et trav. fondat.» Paris, 1961, Vol. 2., p. 187—191.

130. Liebmann G. A new electrical analog method for the solution of transient heat conduction prodlems. — «Transactions of the ASME», 78, N 3, 1956, p. 655—665.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава I. **Краткий обзор изучения проблемы обводнения застраиваемых территорий и пути ее решения** 5

Изучение формирования грунтовых вод на застраиваемых территориях 5
Развитие гидрогеологических исследований на застраиваемых территориях 13

Глава II. **Условия обводнения и режим грунтовых вод застраиваемых территорий** 16

Центр и юг европейской части СССР 16
Промплощадка № 1 16
Промплощадка № 2 23
Промплощадка № 3 27
Промплощадка № 4 33
Промплощадка № 5 36
Промплощадка № 6 40
Промплощадка № 7 44
Промплощадка № 8 49
Промплощадка № 9 53
Промплощадка № 10 58
Промплощадка № 11 62
Территория города 65
Северо-запад европейской части СССР 69
Промплощадка № 1 69
Промплощадка № 2 72
Урал, Сибирь, Казахстан 75
Промплощадка № 1 75
Промплощадка № 2 81
Промплощадка № 3 85
Анализ условий и причин обводнения застраиваемых территорий 88
Типизация застраиваемых территорий по степени их потенциальной обводняемости 93

Глава III. **Особенности формирования режима и баланс грунтовых вод на застраиваемых территориях** 97

Изменение температурного режима грунтов на застраиваемых территориях 97
Изменение влажности грунтов на застраиваемых территориях 99
Методика изучения и анализ засоленности грунтов на застраиваемых территориях 104
Классификация режима грунтовых вод застраиваемых территорий 105
Оценка потерь воды из водных узлов и коммуникаций на основе анализа режима уровня грунтовых вод 110
Закономерность изменения инфильтрационного питания грунтовых вод с глубиной залегания их уровня 113
Общие закономерности режима уровня грунтовых вод на застраиваемых территориях 118
Закономерности режима химического состава грунтовых вод на застраиваемых территориях 119
Анализ баланса грунтовых вод на застраиваемых территориях 124

Стр.

Глава IV. **Методы прогноза изменения уровней грунтовых вод на застраиваемых территориях** 130

Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом аналогии 130
Прогноз изменения уровней грунтовых вод гидродинамическим методом 131
Прогноз изменения уровней грунтовых вод методом математического моделирования 138

Глава V. **Гидрогеологические методы расчета защитных дренажей** 142

Расчет одно- и двухлинейного горизонтального дренажа . . . 142
Расчет кольцевого горизонтального дренажа 145
Расчет пластового дренажа 147
Расчет поглощающих скважин 148
Расчет лучевого скважинного горизонтального дренажа . . . 149
Примеры гидрогеологических расчетов дренажа 153

Глава VI. **Результаты изучения эффективности некоторых осуществленных дренажей на подтапливаемых территориях** 157

Эффективность работы дренажей при защите от подтопления зданий 157
Эффективность работы дренажей при защите от подтопления сооружений 167

Заключение 171

Список литературы 173

ВЛАДИМИР ЕФИМОВИЧ АНПИЛОВ

ФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ЗАСТРАИВАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Редактор издательства *Л. Н. Федорова* Переплет художника *В. М. Лукьянова*
Технические редакторы *А. Г. Иванова* и *О. Н. Ласточкина*. Корректор *Т. М. Столярова*

Сдано в набор 6/X 1975 г. Подписано в печать 3/II 1976 г. Т-00124.
Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага № 2. Печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 12,38. Тираж 5600 экз.
Заказ 563/5417-2. Цена 1 р. 25 к.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.
Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Московский пр., 91.