МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

ВНИИСТ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОГНОЗУ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ НА ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ, ВКЛЮЧАЯ РАЙОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Р 500-83



МОСКВА 1984

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ
НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Всесоюзный научно-исследовательский институт
по строительству магистральных трубопроводов

·ВНИИСТ·

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОГНОЗУ ПРИ СООРУЖЕНИИ ТРУБОПРОВОДОВ НА ИЗБЫТОЧНО УВЛАЖНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ, ВКЛЮЧАЯ РАЙОНЫ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Р 500-83



МОСКВА 1984

УДК [621.643.002.2+69](211-17)

Настоящие Рекомендации содержат основные положения по составлению прогноза гидрогеологических условий при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов.

Особое внимание в Рекомендациях уделено вопросам классификации гидрогеологических режимов, методике определения максимальных уровней грунтовых вод и классификации относительно благоприятных в гидрогеологическом отношении участков по их потенциальной обводняемости в период строительства и эксплуатации.

Предлагаемые Рекомендации предусматривают, с одной стороны, комплексный подход к прогнозированию гидрогеологических условий, а с другой – учитывают возможности проектно-изыскательских организаций и сжатые сроки производства работ.

Рекомендации разработаны на основании результатов исследований, проведенных ВНИИСТом, и использования известных методик гидрогеологического прогноза применительно к задачам дорожного, промышленного и других видов строительства.

Данные Рекомендации предназначены для изыскательских и проектных организаций; вопросы обводнения трасс в процессе эксплуатации могут представлять интерес для специалистов-гидрогеологов и инженеров-геологов различных ведомств, занимающихся вопросами методики гидрогеологического прогноза.

Рекомендации составлены канд.геол.-минерал.наук Л.М.Демидюк, канд.техн.наук В.В.Спиридоновым, инж.С.Г. Степановой.

Авторы выражают признательность заведующему лабораторией ПНИИИСа Госстроя СССР канд.техн.наук Е.С.Дзекцеру, канд.геол.-минерал.наук С.Е.Суходольскому за полезные замечания и пожелания, высказанные при подготовке Рекомендаций к изданию.

Замечания и предложения просьба направлять по адресу: 105058, Москва, Окружной пр., 19, ВНИИСТ, ОСУ.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт по строительству магистральных трубопроводов (ВНИИСТ), 1984

Министерство строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности	Рекомендации по гидрогеологическому прогнозу при сооружении трубопроводов на избыточно увлажненных территориях, включая районы вечной мерзлоты	Р 500-83 Впервые

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации распространяются на изыскание, проектирование и строительство трубопроводов на избыточно увлажненных территориях (включая районы вечной мерзлоты).

I.2. Гидрогеологический прогноз необходимо выполнять для проработок проектных решений и специальных инженерных мероприятий по предотвращению нежелательных инженерно-гидрогеологических процессов и явлений. Гидрогеологический прогноз включает:

анализ и общую оценку гидрогеологических условий с выявлением направленности, интенсивности и масштабов проявления гидрогеологических процессов;

изучение изменений естественного гидрогеологического режима (условий питания, поверхностного и грунтового стока, заболачивания или осушения);

определение техногенного гидрогеологического режима в зоне влияния трубопровода с учетом изменения теплового состояния грунтов основания и влияния процессов промерзания -оттаивания на формирование режима грунтовых вод в основании трубопровода, а также оценку физико-механических и водно-физических свойств грунта в измененных условиях.

Типизацию и оценку изменения гидрогеологических условий в результате строительства и эксплуатации необходимо выполнять в соответствии с разделами 3 и 4 настоящих Рекомендаций.

I.3. Под гидрогеологическими условиями следует понимать совокупность признаков, характеризующих:

условия питания, залегания и разгрузки подземных вод;

литологический состав;

водные свойства водовмещающих пород и пород зоны аэрации;

ВНИИСТ, ООУ	Утверждены ВНИИСТом 4 ноября 1982 г.	Срок введения в действие I февраля 1984 г.

движение, качество и количество подземных вод, особенности их режимов в природной обстановке и под влиянием искусственных факторов.

Под грунтовыми водами подразумеваются подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водоупорном слое.

Грунтовые воды области распространения многолетней мерзлоты относятся к категории надмерзлотных или межмерзлотных* вод. Водоупором надмерзлотных вод является мерзлота. Уровень надмерзлотных вод и грунтовых вод области глубокого сезонного промерзания непрерывно изменяется в течение года в зависимости от глубины сезонного промерзания-оттаивания грунтов.

I.4. Режим грунтовых вод - это закономерности изменения качественных и количественных параметров подземных вод: уровня, температуры и химического состава под воздействием климатических, гидрологических, геологических, биогенных и техногенных факторов .

Режим грунтовых вод определяется:

условиями питания и разгрузки, соотношением между выпадающими осадками, величинами испарения и поверхностного стока;

мощностью и составом грунтов зоны аэрации, обусловливающими равномерность, высоту подъема и амплитуду колебаний уровня грунтовых вод (УГВ);

условиями теплообмена на поверхности пород и особенностями теплопередачи в массиве, формирующими тепловое состояние пород, их сезонное и многолетнее промерзание.

Закономерности изменения режима грунтовых вод в зависимости от зональных и региональных факторов рассмотрены в приложении I обязательном.

I.5. При проектировании магистральных трубопроводов должны быть учтены как естественные сезонные и многолетние колебания УГВ, так и изменения уровенного режима ГВ и обводнения трасс в процессе строительства и эксплуатации.

На участках распространения многолетнемерзлых пород следует учитывать возможность формирования техногенной водоносной

---

* В настоящих Рекомендациях межмерзлотные воды не рассматриваются.

зоны, образующейся непосредственно около трубопровода, изменчивой по размерам в пространстве и во времени.

Водовмещающей средой искусственной водоносной зоны являются пески, супеси, торф в естественном и частично нарушенном строительством разуплотненном залегании, а также искусственные грунты. Подошвой такой водоносной зоны служат либо многолетнемерзлые породы, либо литологические водоупоры (суглинки, глины). Мощность этой зоны может составлять I-IO м. В верхней части техногенная водоносная зона соприкасается с трубой и зоной аэрации.

Образование техногенной водоносной зоны и изменение в ее пределах режима грунтовых вод определяется главным образом первоначальными гидрогеологическими условиями территории, нарушением поверхностного стока, направлением трубопроводной магистрали и ее тепловым влиянием.

I.6. При повышении УГВ изменяются прежде всего деформационные и прочностные свойства грунтов, возникает разуплотнение или набухание их, увеличение степени морозного пучения.

Своевременный прогноз потенциального обводнения, особенностей гидрогеомеханического взаимодействия трубопровода с обводненным грунтовым массивом позволит учесть эти процессы при назначении пригрузов или других методов закрепления трубопроводов, а также при выборе глубины строительной траншеи и времени производства работ.

I.7. Прогноз изменения гидрогеологических условий в результате их динамики в естественных условиях и нарушенном режиме при строительстве и эксплуатации необходимо осуществлять на основе закономерностей процессов, обусловленных взаимодействием природных и техногенных факторов.

Гидрогеологический прогноз при сооружении трубопроводов заключается в определении следующих качественных и количественных характеристик:

максимального УГВ в естественных условиях с учетом освоения территории на весь срок эксплуатации трубопровода (около 30 лет);

степени воздействия обводнения грунтового массива на проектируемый трубопровод;

оценки изменения УГВ и потенциального обводнения при строительстве и эксплуатации.

2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ТРАСС МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

2.I. Факторы, определяющие формирование гидрогеологических условий и их изменение при сооружении магистральных трубопроводов, генетически можно разделить на естественные и техногенные, их систематизация приведена на рис.I.

2.2. Естественный режим грунтовых вод определяется влиянием следующих групп факторов:

климатических;
геологических;
геоморфологических;
гидрологических;
мерзлотных;
геоботанических.

В климатическую группу факторов входят метеорологические элементы:

атмосферные осадки, температура воздуха;
испарение;
атмосферное давление.

Среднегодовая температура воздуха в значительной степени определяет:

тепловое состояние пород;
отсутствие или наличие многолетней мерзлоты;
глубину слоя сезонного протаивания-промерзания.

К геологической группе факторов относятся:

характер напластований пород, их плотность и тектонические движения;

геологические и физико-химические процессы, вызывающие изменения литологического состава и водопроницаемости пород в зоне аэрации.

Факторы геоморфологической группы определяют естественную дренированность территории, к ним относятся: уклоны поверхности земли, высота базиса эрозии, густота речной сети, формы рельефа.

Гидрологическая группа факторов включает водный режим рек, озер и болот, с которыми грунтовые воды имеют тесную связь.

Факторы мерзлотной группы определяют условия питания,цир-

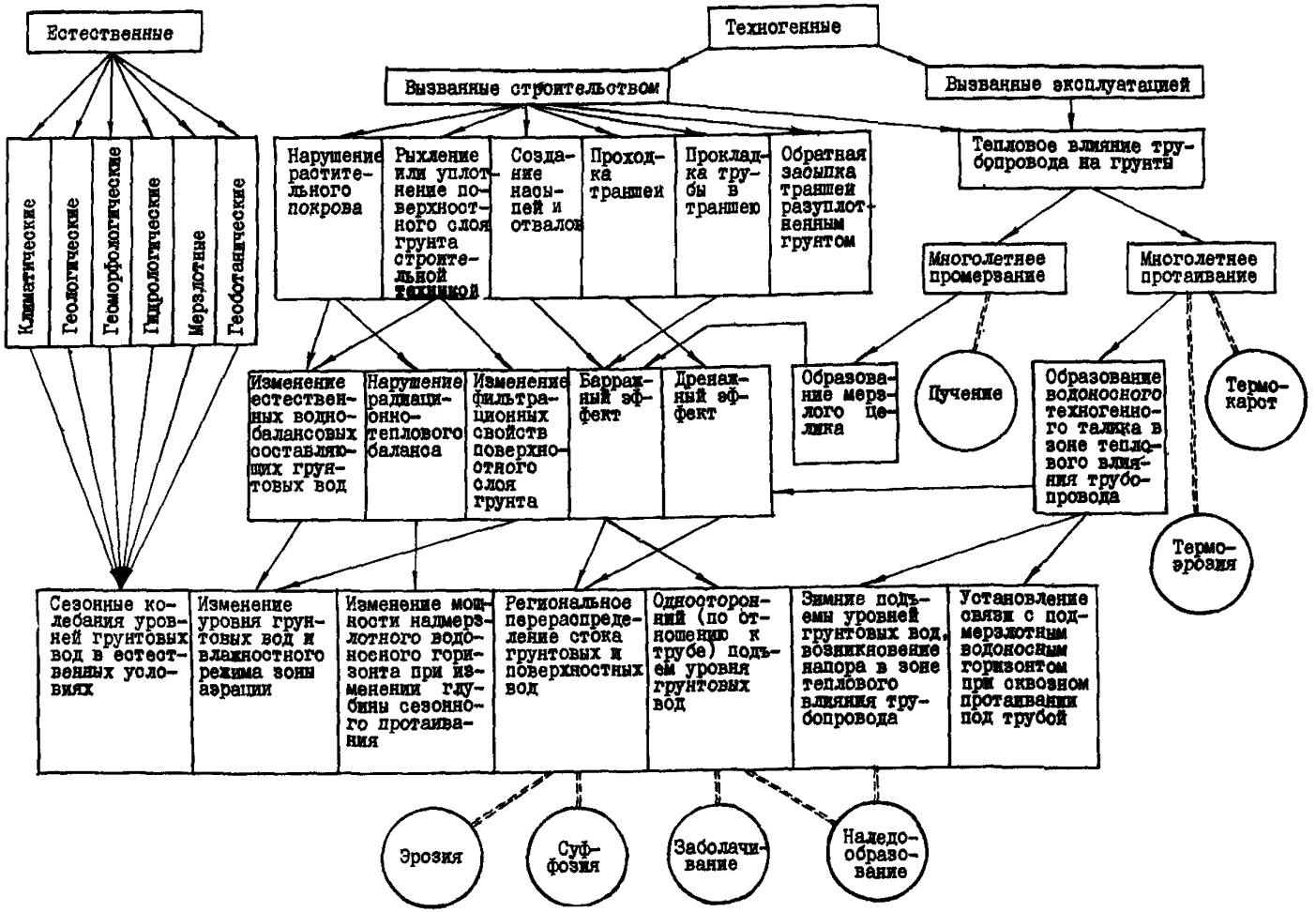


Рис.I. Факторы, определяющие изменение гидрогеологических условий при сооружении магистральных трубопроводов:

○ - инженерно-геологические процессы

куляции и дренирования подземных вод, к ним относятся: распространение и мощность многолетне- и сезонномерзлых пород, их температура и льдистость.

Факторы геоботанической группы оказывают влияние на условия питания грунтовых вод через поверхностный сток, мощность снежного покрова, интенсивность таяния, величину испарения с поверхности, к ним относятся: вид растительного покрова, сомкнутость крон, степень проективного покрытия, мощность мохового покрова.

2.3. Группу техногенных факторов следует подразделить на:

факторы, вызванные строительством;

факторы, изменяющие гидрогеологические условия в период эксплуатации трубопроводов.

К техногенным факторам, вызванным строительством трубопровода, относятся следующие основные факторы:

нарушение растительного покрова;

рыхление или уплотнение поверхностного слоя грунта строительной техникой;

создание насыпей и отвалов;

проходка траншей;

прокладка трубы в траншею, как инородного тела;

обратная засыпка траншеи разуплотненным грунтом.

Полное или частичное уничтожение леса и напочвенного покрова в полосе строительства вызывают, во-первых, изменение составляющих водного баланса (испарения с поверхности почвы, конденсации влаги в поверхностном слое грунта, инфильтрации, поверхностного стока), во-вторых, нарушение радиационно-теплового баланса на поверхности грунта.

Нарушение радиационно-теплового баланса на поверхности грунта необходимо учитывать в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

Рыхление или уплотнение грунта строительной техникой приводит к изменению естественных водно-балансовых составляющих грунтовых вод и фильтрационных свойств поверхностного слоя грунта.

2.4. Перечисленные в п.2.3 техногенные факторы вызывают изменения уровенного режима грунтовых вод, влажностного режима грунтов в зоне аэрации и мощности надмерзлотного водонос-

ного горизонта в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.

Увеличение или уменьшение мощности надмерзлотного водоносного горизонта происходит при изменении глубины сезонного оттаивания (промерзания) различных по составу водовмещающих пород.

2.5. Земляные работы, связанные с проходкой и обратной засыпкой траншеи, возведением насыпей и отвалов, прокладкой трубы, приводят к нарушению грунтового и поверхностного стока: изменению направления и скорости движения воды.

Строительная траншея играет роль искусственной дрены, изменяющей подземный и поверхностный стоки.

Величина и характер влияния траншеи определяются рельефом и направлением траншеи. Прокладка трубопровода перпендикулярно к поверхностному и подземному стокам барражирует грунтовые воды и тем самым ускоряет подъем их уровня.

2.6. Существенным техногенным фактором, изменяющим гидрогеологические условия в период эксплуатации, следует считать тепловое влияние самого трубопровода.

В результате теплового взаимодействия в основании трубопровода образуется сложное линейное температурное поле, режим которого в значительной степени определяет формирование гидрогеологических условий, качественно изменяя природные процессы тепло-влагопереноса грунтов и фильтрации грунтовых вод зоны аэрации.

В зависимости от температуры транспортируемого продукта происходит многолетнее протаивание либо многолетнее промерзание грунтового массива.

При положительной температуре трубопровода, проложенного на участках распространения многолетнемерзлых пород, образуются многолетние ореолы протаивания, в которых при определенном литологическом составе слагающих грунтов формируется непромерзающий техногенный водоносный талик.

Транспортировка продукта с отрицательной температурой на талых грунтах вызывает образование вокруг трубопровода многолетних ореолов промерзания, которые могут оказывать на грунтовые воды барражирующее действие. На таких участках возможны односторонние (по отношению к трубе) случаи подъема уровня грунтовых вод.

2.7. Образование техногенных водоносных горизонтов в результате эксплуатации трубопроводов на участках многолетнемерзлых пород приводит к следующим изменениям гидрогеологических условий:

региональному перераспределению стока грунтовых и поверхностных вод;

установлению связи с подмерзлотным водоносным горизонтом при сквозном протаивании под трубой;

зимним подъемам уровней грунтовых вод, возникновению напоров в зоне теплового влияния трубопровода.

2.8. Изменение гидрогеологических условий, происходящее в результате воздействия техногенных факторов, вызывает развитие мерзлотно-инженерно-геологических процессов (пучение, термокарст, эрозию, термоэрозию, суффозию, заболачивание, наледообразование). Эти процессы оказывают отрицательное влияние на устойчивость трубопровода и их необходимо учитывать при проектировании.

2.9. Оценку режимообразующих факторов необходимо осуществлять на основе анализа материалов инженерно-геологических изысканий, данных гидрометеорологических, гидрологических и гидрогеологических станций и постов.

При оценке естественных гидрогеологических условий территории строительства следует выделять один или несколько основных режимообразующих факторов, которые являются определяющими и активными по степени воздействия.

Для оценки влияния техногенных факторов необходимо учитывать диаметр трубопровода и его технологический режим, а также использовать опыт строительства и эксплуатации трубопроводов в аналогичных условиях.

2.10. Оценку естественных режимообразующих факторов следует осуществлять согласно типизации режима грунтовых вод (пп.3.1-3.12).

Располагая материалами изысканий, можно количественно оценить и прогнозировать:

величину подземного стока;

величину инфильтрационного питания;

поверхностный сток;

размеры зоны искусственного дренирования и величину ее влияния.

Оценку техногенных факторов и их влияния на обводнение трубопровода необходимо выполнять в соответствии с пп.4.I-4.2I.

3. ТИПИЗАЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

3.I. Возможные изменения уровня грунтовых вод следует прогнозировать в зависимости от естественных геологических и гидрогеологических условий трассы трубопровода, которые характеризуются большим разнообразием и определяются зональностью, различной дренированностью, строением гидрогеологического разреза, мерзлотными особенностями.

Режим грунтовых вод по генетическому признаку следует подразделять на типы, подтипы, классы, подклассы и виды, которым соответствуют следующие территориальные подразделения: провинция, зона, область, район и участок (рис.2, табл.I).

Провинция - это территория, в пределах которой распространен один тип режима грунтовых вод; типы режима выделяют по климатическому признаку.

Территория СССР подразделяется на три провинции, характеризующиеся различными условиями питания и соответствующими им типами режима грунтовых вод (см.рис.2, табл.2):

кратковременного, преимущественно летнего питания грунтовых вод (районы многолетнемерзлых пород) - провинция А;

сезонного питания (весной и осенью) - провинция Б;

круглогодичного питания (в районах, где промерзание грунтов отсутствует или происходит спорадически) - провинция В.

3.2. Провинции по признаку соотношения величины питания грунтовых вод атмосферными осадками, стока и испарения разделяются на три зоны (см.рис.2, табл.I):

обильного питания - I;

умеренного питания - 2;

скудного питания - 3.

3.3. Зона может быть разделена на подзоны по сочетанию:

теплообеспеченности;

величины увлажнения;

характера промерзания грунтов (многолетнего сплошного, прерывистого, островного, сезонного глубокого, сезонного мелкого пп.II, I2 прил.I, обязательное).

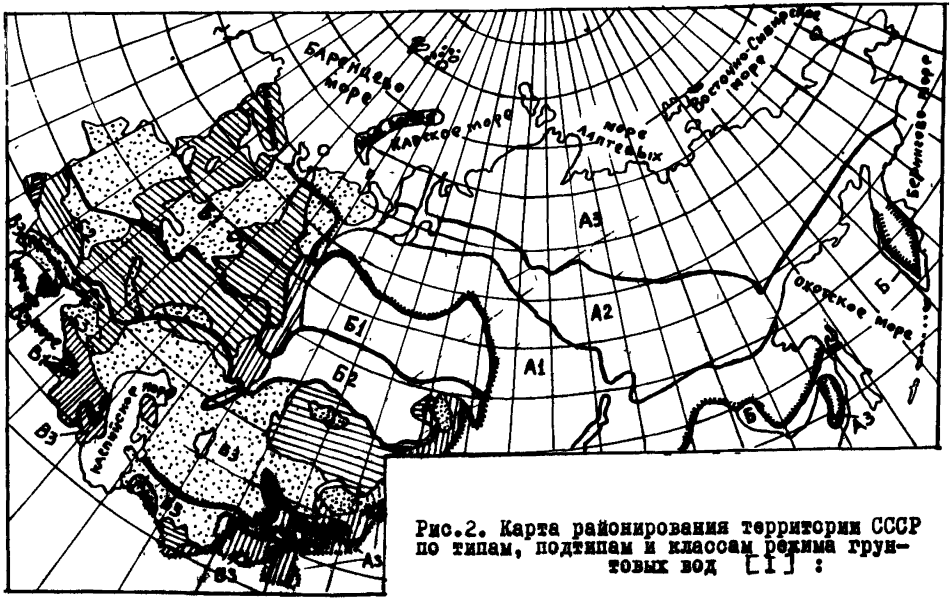


Рис.2. Карта районирования территории СССР по типам, подтипам и классам режима грунтовых вод [I] :

А-тип кратковременного питания; Б-тип сезонного питания; В-тип круглогодичного питания; I-подтип обильного питания; 2-подтип умеренного питания; 3-подтип скудного питания; классы режима: -слабо дренированных областей; -дренированных областей; - сильно дренированных областей; границы: между типами режима; между подтипами режима; между классами режима

Таблица I

Схема типизации режимов грунтовых вод в естественных условиях

Таксономические единицы		Подразделение таксономических единиц	Индекс	Признаки выделения
режима грунтовых вод	гидрогеологического районирования			
Тип	Провинция	Кратковременного питания	А	
		Сезонного питания	Б	Климатические
		Круглогодичного питания	В	
Подтип	Зона	Обильного питания	I	Соотношение величины питания, стока и испарения
		Умеренного питания	2	
		Скудного питания	3	
То же	Подзона	См.п.II прил.I	–	Сочетание теплообеспеченности, увлажнения и характера промерзания
Класс	Область	Сильно дренированные	$д_I$	Степень дренирования (густота и глубина вреза эрозионной сети)
		Дренированные	$д_2$	
		Слабо дренированные	$д_3$	
Подкласс	Район	Междуречный	м	Геоморфологическая приуроченность, наличие связи грунтовых и поверхностных вод
		Террасовый	т	
		Склоновый	с	
		Гидрологический	г	
Вид	Участок	См. пп.3.8–3.II		Степень однородности и состав верхней толщи покровных отложений, уровень грунтовых вод

3.4. Гидрогеологические зоны и подзоны в зависимости от степени дренированности территории, определяемой по густоте и глубине вреза эрозионной сети, разделяются на следующие области:

сильно дренированные – $д_I$;

дренированные – $д_2$;

слабо дренированные – $д_3$.

Таблица 2

Типы режима грунтовых вод

Тип режима грунтовых вод	Индекс (см.рис.2)	Характеристика провинции
Кратковременного, преимущественно летнего питания	А	Средняя многолетняя годовая температура воздуха отрицательная; территория с распространением многолетнемерзлых грунтов
Сезонного, преимущественно весеннего и осеннего питания	Б	Средняя многолетняя годовая температура воздуха положительная; в холодный период средняя многолетняя месячная температура воздуха отрицательная; территория с распространением сезонномерзлых грунтов
Круглогодичного, преимущественно зимнего питания	В	Положительная многолетняя средняя месячная температура воздуха в самый холодный период; территория, где промерзание грунтов наблюдается в отдельные годы

Каждая область характеризуется классом режима грунтовых вод.

3.5. Подклассы режима грунтовых вод определяются геоморфологической приуроченностью и наличием связи грунтовых вод и поверхностных водотоков; соответствующие им гидрогеологические районы характеризуются следующими подклассами режима:

междуречным - м;

террасовым - т;

склоновым - с;

гидрологическим - г.

Характеристика подклассов режима дана в пп.6-10 прил.1.

3.6. Дальнейшее деление гидрогеологических районов на участки проведено с учетом:

степени однородности верхней толщи покровных отложений;

уровня грунтовых вод;

литологии водовмещающих пород, обусловливающих особенности питания, разгрузки и динамики грунтовых вод.

3.7. Уровень типизации гидрогеологических условий соответствует детальности инженерных изысканий. На стадии проекта выделяют районы и участки (подклассы и виды режима грунтовых вод), при выборе трассы - провинции, зоны и области (типы, подтипы и классы режима).

3.8. Типизацию гидрогеологических условий (табл.3) на уровне выделения участков следует проводить с учетом:

геологического разреза (строения, состава и состояния поверхностных отложений);

морфологических особенностей рельефа;

степени обводненности грунтового массива (УГВ).

3.9. Целесообразно выделять следующие типы геологического разреза (I-УШ, рис.3):

I тип - однослойный песчаный разрез, водоупор глубокий, воды безнапорные, таликовые;

II тип - двухслойный разрез: верхний слой - водоносные пески, нижний слой - литологический водоупор, воды напорные в зимний период, таликовые;

III тип - двухслойный разрез: верхний слой - суглинисто-торфяной, нижний - водоносные пески, грунтовые воды напорные, таликовые;

IУ тип - однослойный суглинистый разрез, породы талые;

У тип - однослойный песчаный разрез, надмерзлотные грунтовые воды, водоупор криогенный;

УI тип - двухслойный разрез: верхний слой - песчаный, нижний - суглинистый, надмерзлотные грунтовые воды, водоупор криогенно-литологический;

УII тип - двухслойный разрез: верхний слой - торфяно-суглинистый, нижний - песчаный, водоупор криогенный, при оттаивании подвижный;

УIII тип - однослойный суглинистый или торфяно-суглинистый разрез, сложенный слабольдистыми с $\delta \leq 0{,}3$ или сильнольдистыми с $\delta > 0{,}3$ грунтами (где δ - льдистость, доли единицы).

3.IO. По морфологическим особенностям рельефа следует выделять участки:

с уклонами менее 7° (равнины);

Таблица 3

Типизация и индексация гидрогеологических участков с учетом требований трубопроводного строительства

Типы геологических разрезов (по рис.3)	Уклоны поверхности											
	$<7^{0}$(р)						$\geq 7^{0}$(у)					
	Уровни грунтовых вод (по рис.4)											
	Заозеренные $>+0,5$м (б)	Заливаемые от 0,0 до +0,5м (з)	Обводненные от 0,0 до -I,2м (о)	Слабо обводненные от -I,2 до -2,5 м (л)	Необводненные от -2,5 до -3,5м (н)	Сухие глубже -3,5 м (с)	Заозеренные $>+0,5$м (б)	Заливаемые от 0,0 до +0,5 м (з)	Обводненные от 0,0 до -I,2 м (о)	Слабо обводненные от -I,2 до - 2,5 м (л)	Необводненные от -2,5 до -3,5м (н)	Сухие глубже -3,5 м (с)
I	рIб	рIз	рIо	рIл	рIн	рIс	уIб	уIз	уIо	уIл	уIн	уIс
II	рIIб	рIIз	рIIо	рIIл	рIIн	рIIс	уIIб	уIIз	уIIо	уIIл	уIIн	уIIс
III	рIIIб	рIIIз	рIIIо	рIIIл	рIIIн	рIIIс	уIIIб	уIIIз	уIIIо	уIIIл	уIIIн	уIIIс
IУ	рIУб	рIУз	рIУо	рIУл	рIУн	рIУс	уIУб	уIУз	уIУо	уIУл	уIУн	уIУс
У	рУб	рУз	рУо	рУл	рУн	рУс	уУб	уУз	уУо	уУл	уУн	уУс
УI	рУIб	рУIз	рУIо	рУIл	рУIн	рУIс	уУIб	уУIз	уУIо	уУIл	уУIн	уУIс
УII	рУIIб	рУIIз	рУIIо	рУIIл	рУIIн	рУIIс	уУIIб	уУIIз	уУIIо	уУIIл	уУIIн	уУIIс
УIII	рУIIIб	рУIIIз	рУIIIо	рУIIIл	рУIIIн	рУIIIс	уУIIIб	уУIIIз	уУIIIо	уУIIIл	уУIIIн	уУIIIс

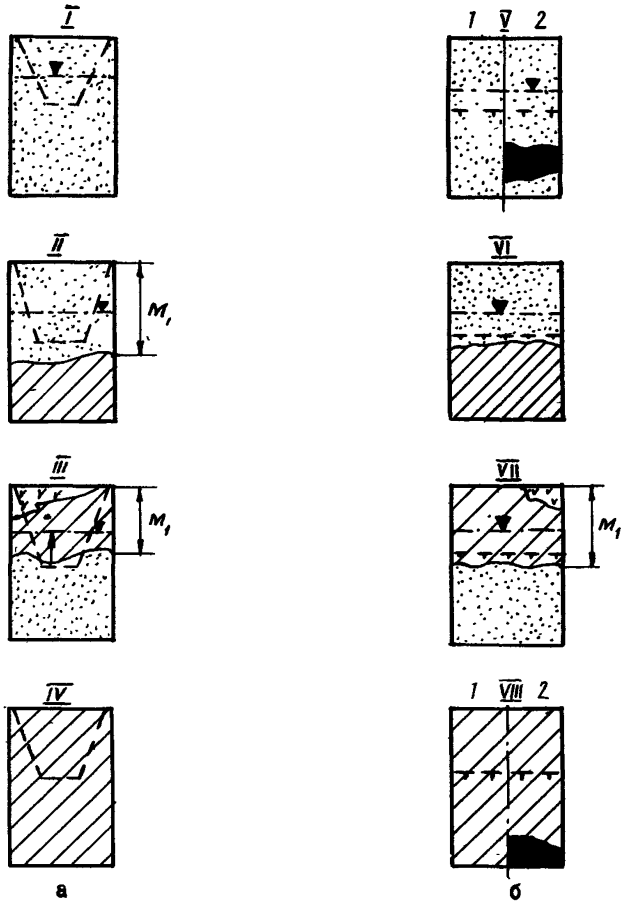


Рис.3. Типы геологических разрезов, обводняемых при строительстве и эксплуатации трубопроводов:

а–типы разрезов с таликовыми грунтовыми водами; б–типы разрезов с надмерзлотными водами; 1–разрезы со слабольдистыми грунтами; 2–разрезы с сильнольдистыми грунтами; I–VIII–типы геологических разрезов; M_1 –мощность первого от поверхности слоя грунта; –песок, супесь; –суглинок, тяжелая супесь; – лед, сильнольдистые грунты; –торф; –уровень грунтовых вод; – границы мерзлоты; –траншея трубопровода; – местный напор подземных вод

с уклонами местности 7^{0} и более при протяженности склонов одной экспозиции более 300 м.

3.II. Степень обводненности участков характеризуется уровнями грунтовых вод, граничные значения которых назначают с учетом условий, перечисленных в п.4.I0.

Соответственно должны быть выделены следующие участки (см.рис.4):

заозеренные, поверхностные воды с превышением более +0,5м над дневной поверхностью (б);

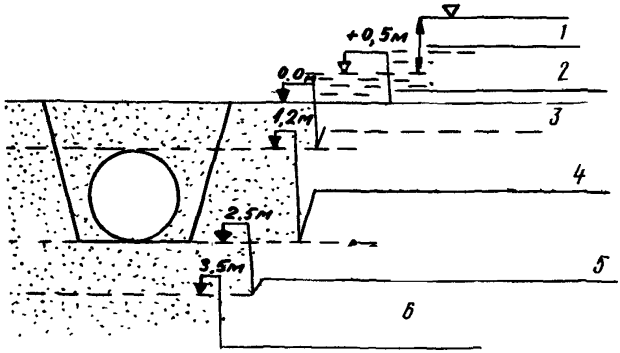


Рис.4. Типы участков по степени обводнения:

I-заозеренные (б); 2-заливаемые (з); 3-обводненные (о); 4-слабо обводненные или потенциально обводняемые (л); 5-необводненные или потенциально увлажняемые (н); 6-сухие (с); ▽ -уровень грунтовых вод; ▽ -уровень поверхностных вод

заливаемые, длительно стоящие поверхностные воды (более 20 сут), УГВ от 0,0 до +0,5 м (з);

обводненные, поверхностный сток не обеспечен, УГВ от 0 до -I,2 м (о);

слабо обводненные, глубина залегания УГВ от -I,2 до - 2,5м (л);

необводненные, поверхностный сток обеспечен, УГВ от -2,5 до -3,5м (н);

сухие, поверхностный сток обеспечен, УГВ глубже -3,5м(с).

3.I2. При гидрогеологической типизации на уровне районов

и участков (стадия проекта) необходимо указывать, в какой провинции, зоне, области находится данный участок.

Общий индекс участка с учетом типа, подтипа, класса и подкласса режима грунтовых вод имеет вид (см.табл.I,3):

$$А2д_3^{м} - pIз,$$

где провинция (тип) – А;
зона (подтип) – 2;
область (класс) – $д_3$;
район (подкласс) – м;
участок (вид) – pIз.

Пример записи индекса расшифровывают следующим образом.
Участок расположен:
в провинции кратковременного режима питания (А);
в зоне умеренного питания (2);
в области слабого дренирования ($д_3$);
в междуречном районе (м); с уклонами местности менее 7^0(р); с I типом геологического разреза – однослойный с глубоким водоупором (I); поверхностные воды с уровнем от 0,0 до +0,5м (з).

4. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД

4.I. Возможные изменения уровня грунтовых вод (УГВ) следует прогнозировать в зависимости от геологических и гидрогеологических условий участка и видов техногенного воздействия.

Классификация факторов, вызывающих изменение гидрогеологических условий при строительстве и эксплуатации, и характер их влияния приведены на рис.I.

Прогнозное положение уровня грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации трубопроводов следует принимать по результатам инженерно-геологических изысканий и прогноза УГВ, выполненных на основе специальных расчетов.

4.2. Прогнозирование изменения уровня грунтовых вод при взаимодействии обводненного грунтового массива с трубопроводом необходимо проводить в две стадии: вначале выполняют предварительный, качественный прогноз, а затем количественный.

Качественный прогноз заключается в определении типа потенциального изменения гидрогеологических условий на основе настоящего раздела.

Количественный прогноз с определением уровня грунтовых вод на различные моменты времени и зоны влияния техногенного водоносного горизонта выполняют на основе специальных расчетов с применением моделирования на ЭВМ и аналоговых устройствах.

4.3. За основу анализа потенциального обводнения принимают типизацию режимов грунтовых вод согласно пп.3.I-3.I2.

Расчетные схемы должны быть составлены на основании типовых гидрогеологических разрезов.

За исходный уровень следует принимать максимальный в естественных условиях УГВ, определяющий категорию гидрогеологического участка по степени обводненности в соответствии с п.3.II.

4.4. Наиболее важен гидрогеологический прогноз слабо обводненных и необводненных участков, так как они могут перейти в категорию обводненных и заливаемых, строительство на которых требует применения мер для предотвращения всплытия подземных трубопроводов.

4.5. При прогнозировании УГВ необходимо учитывать, что повышение УГВ происходит по-разному в зависимости от:

способа прокладки (надземной, наземной, подземной);

температурного режима трубопровода (отрицательный, холодный, теплый, положительный);

расположения трубопровода относительно элементов рельефа (вида прокладки).

4.6. По ориентации трубопровода относительно рельефа следует различать следующие виды прокладки (рис.5):

равнинный бесстоковый (рб) - прокладка по горизонтальной поверхности, поверхностный и грунтовый сток отсутствуют;

равнинный поперечностоковый (рс)* - прокладка по слабонаклонной поверхности (угол менее 7^{0}), перпендикулярно полосам стока, сток незначителен;

склоновый продольностоковый (сп) - прокладка вдоль склона (угол склона более 7^{0}), параллельно направлению поверхностного и грунтового стоков;

* Этот вид прокладки характерен для равнинных территорий Западной Сибири с многочисленными полосами стока.

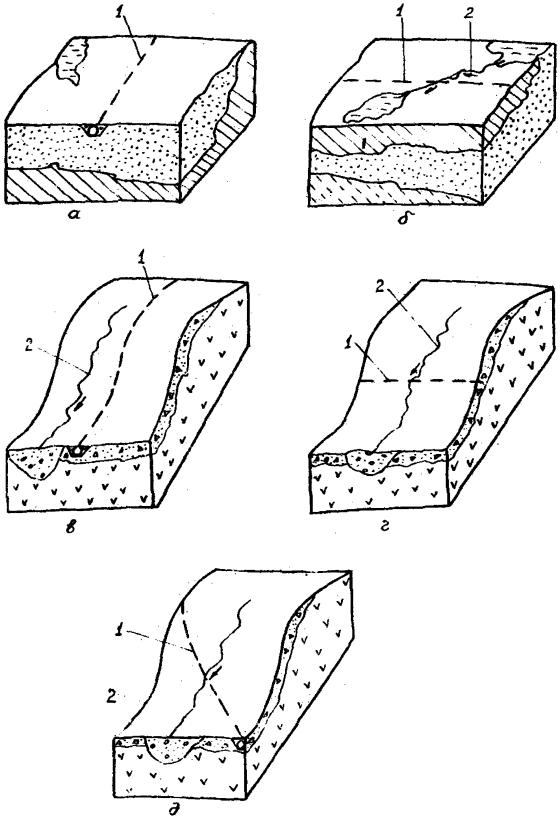


Рис.5. Виды прокладки трубопровода по отношению к рельефу: *а* – равнинный бесстоковый (рб); *б*–равнинный поперечностоковый (рс); в–склоновый продольностоковый (сп); г–склоновый поперечностоковый (сч); д–склоновый наклонностоковый (сн); I–трубопровод; 2 – река, ручей

склоновый поперечностоковый (сч) – прокладка по склону, перпендикулярно уклону и направлению поверхностного и грунтового стоков;

склоновый наклонностоковый (сн) – прокладка по склону под углом к нормали склона занимает промежуточное положение между склоновым продольностоковым и склоновым поперечностоковым видами прокладки.

4.7. Номенклатуру способов прокладки и температурного режима трубопровода принимают в соответствии с Р 380-80 [2].

В зависимости от температуры продукта при эксплуатации, обусловливающей характер и степень взаимодействия с окружающей средой (грунт, вода, воздух), участки трубопроводов делят на:

отрицательные – во время эксплуатации постоянно поддерживают температуру ниже 0°;

холодные – температура может быть периодически и отрицательной и положительной, но среднегодовая температура равна или ниже $-1^{o}C$;

теплые – температура периодически может быть и положительной и отрицательной, но среднегодовая температура выше $-1^{o}C$;

положительные – постоянно поддерживается температура выше $0^{o}C$.

Индексация видов техногенного воздействия трубопроводов на окружающую среду приведена в табл.4.

4.8. В зависимости от расстояния от трубопровода следует различать техногенный, переходный и естественный режимы грунтовых вод (рис.6).

4.9. Техногенный режим грунтовых вод определяется как типом гидрогеологического разреза, общими условиями дренирования, увлажнения, условиями сезонного и многолетнего промерзания и оттаивания, так и способом прокладки и технологическим режимом в период эксплуатации.

4.10. Классификацию участков по степени обводненности и потенциальной обводняемости необходимо осуществлять с учетом положения максимального уровня грунтовых и поверхностных вод относительно глубины залегания трубопровода.

Критерием для классификации участков по степени обводненности и потенциальной обводняемости является уровень вод (грунтовых и поверхностных) по условиям:

технологии строительства;

обеспечения устойчивости от всплытия;

предотвращения пучения.

Таблица 4

Индексация участков трассы по видам техногенного воздействия подземных (П) трубопроводов

Виды прокладки трубопроводов (по рис.5)	Категории трубопроводов по температуре			
	Отрицательный (о)	Холодный (х)	Теплый (т)	Положительный (п)
Равнинный бесстоковый (рб)	$П^{о}_{рб}$	$П^{х}_{рб}$	$П^{т}_{рб}$	$П^{п}_{рб}$
Равнинный поперечностоковый (рс)	$П^{о}_{рс}$	$П^{х}_{рс}$	$П^{т}_{рс}$	$П^{п}_{рс}$
Склоновый продольностоковый (сп)	$П^{о}_{сп}$	$П^{х}_{сп}$	$П^{т}_{сп}$	$П^{п}_{сп}$
Склоновый поперечностоковый (сч)	$П^{о}_{сч}$	$П^{х}_{сч}$	$П^{т}_{сч}$	$П^{п}_{сч}$
Склоновый наклонностоковый (сн)	$П^{о}_{сн}$	$П^{х}_{сн}$	$П^{т}_{сн}$	$П^{п}_{сн}$

Примечание. Категории трубопроводов по температуре приведены в соответствии с п.4.7.

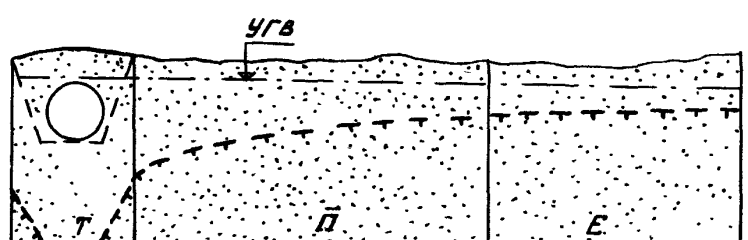


Рис.6. Зоны режима грунтовых вод по трассе трубопровода:
Т – зона с техногенным режимом; П – зона с переходным режимом;
Е – зона с естественным режимом; УГВ – уровень грунтовых вод

4.II. Необводняемыми участками следует считать такие участки, на которых в результате благоприятных природных гидрогеологических условий (в частности, при наличии естественного дренирования, отсутствии мерзлоты, наличии хорошо проницаемых грунтов большой мощности и глубокого залегания водоупора) заметного повышения уровня грунтовых вод не происходит или оно не отражается на нормальных условиях эксплуатации заглубленных трубопроводов.

К категории необводняемых участков относятся участки с максимальным в естественных условиях УГВ ниже 3,5 м (сухие, см.п.3.II).

Потенциально обводняемыми участками являются такие участки, в пределах которых происходит постоянное или хотя бы в течение 5 сут изменение водного режима: подъем УГВ, затопление и нарушение условий, необходимых для нормальной эксплуатации заглубленного трубопровода.

4.I2. Обводнение грунтового массива на слабо обводненных и необводненных участках в процессе строительства и эксплуатации происходит в результате:

зимних подъемов грунтовых вод за счет формирования криогенного напора при неравномерном сезонном промерзании и разгрузке напора в чашу протаивания теплых и положительных трубопроводов (типы П, У, УI, рис.3);

водопритока талых и дождевых вод в грунты обратной засыпки и чашу оттаивания;

бокового притока поверхностных и грунтовых вод из-за перераспределения стока при создании траншеи и прокладке трубопровода;

притока в строительную траншею вод, образующихся при оттаивании льдистых мерзлых пород (типы УП, УШ, рис.3).

4.I3. Обводнение участков трасс трубопровода следует подразделять (табл.5):

по глубине;

по форме;

по длительности;

по направленности режима грунтовых вод.

Таблица 5

Обводнение трасс трубопроводов

Тип обводнения	Характер обводнения
По глубине	Поверхностное, грунтовое
По форме относительно трубопровода	Симметричное, асимметричное, локальное
По длительности	Постоянное, сезонное, постоянное и сезонное
По направленности режима грунтовых вод	Циклическое, прогрессирующее, убывающее

4.I4. Надземный способ прокладки трубопровода не приводит к существенным изменениям гидрогеологических условий. При наземной прокладке перераспределение поверхностного стока вызывает поверхностное обводнение участков с поперечносклоновым и поперечностоковым видами прокладки в случае типовых разрезов Ш, IУ, УП, УШ (см.рис.3).

Наибольшие изменения гидрогеологических условий и наибольшие вероятности возникновения техногенных водоносных зон создаются при подземной прокладке трубопроводов, систематизация которых по видам техногенного воздействия приведена в табл.6.

4.I5. Классификация по потенциальной обводняемости участков подземного трубопровода построена на сочетании типовых разрезов (см.рис.3), видов прокладки (см.рис.5) и температурного режима трубопровода (см.п.4.7). В классификации рассмотрены только слабо обводненные и необводненные участки (в ненарушенных условиях).

Сухие участки не рассмотрены как практически потенциально необводняемые, а заливаемые и заозеренные – как избыточно обводненные в достроительный период.

4.I6. В зависимости от сочетания типов гидрогеологических разрезов, видов прокладки и температурного режима трубопровода все участки трассы подземного трубопровода разделены на 5 групп по степени их потенциальной обводняемости (табл.6,7).

4.17. Наибольшую вероятность значительного повышения УГВ или образования техногенного водоносного горизонта следует ожидать и учитывать при проектировании на участках I и II типов.

На участках с двухслойным разрезом III типа (см.рис.3) при глубине траншеи, соизмеримой с мощностью верхнего водоупорного слоя, следует предусматривать подъем УГВ и обводнение траншеи независимо от типа режима ГВ и температуры трубопровода; при этом подъем УГВ происходит уже в строительный период за счет локально напорных вод, уровень которых устанавливается в соответствии с величиной напора.

4.18. Обводнение участков с разрезом II, У, УI (по рис.3) происходит только при положительной среднегодовой температуре трубопровода в связи с образованием криогенного напора за счет неравномерности процессов промерзания и разгрузки этого напора в таликовую зону трубопровода (табл.8).

Подъем УГВ может превышать поверхность земли и сопровождаться наледообразованием. Обязательным условием этого процесса является превышение глубины сезонного промерзания в зоне с переходным режимом (по рис.6) над УГВ. Последнее характерно для AI, A2, A3, БI (по рис.5, прил.I) мерзлотно-гидрологo-климатических зон.

4.19. На склонах крутизной более 7^{0} при склоновой поперечностоковой прокладке возможно одностороннее поднятие уровня грунтовых вод с нагорной стороны положительного трубопровода, а в случае отрицательного трубопровода - наледообразование.

4.20. При склоновом продольностоковом виде прокладки возможно лишь незначительное обводнение подземного положительного трубопровода на участках с У и УП типами геологического разреза ($У-П^{II}_{сп}$ и $УП-П^{II}_{сп}$), в подавляющем большинстве случаев - обводнение не происходит.

4.21. Образование мерзлого ядра вокруг подземных трубопроводов приводит к асимметричному обводнению в зоне с переходным режимом грунтовых вод (по рис.6) без непосредственного воздействия на сам трубопровод и должно быть учтено при проектировании вдольтрассовых дорог и других коммуникаций.

Таблица 6

Потенциальная обводняемость грунтового массива в зоне влияния подземного трубопровода

Вид техногенного воздействия трубопровода		Потенциальная обводняемость грунтового массива для разных типов геологического разреза (I-УШ по рис.3)							
по температуре	по положению в рельефе (по рис.5)	I	II	III	IУ	У	УI	УП	УШ
Положительный (п)	Равнинный бесстоковый (рб)	Необводняемый	Интенсивно обводняемый; возникновение напора при $\xi_{пр} > h_в$, значительное повышение $h_в$ зимой вплоть до наледообразования; обводнение грунтовое, симметричное, сезонное, цикличное	Обводняемый при условии $H_{тр} > M_1$; обводнение грунтовое, постоянное, симметричное	Слабо обводняемый; обводнение грунтовое (зоновое, на T); сезонное, убывающее	Интенсивно обводняемый за счет образования ореола криогенных напоров в зоне T; обводнение грунтовое, симметричное, убывающее, постоянное	Обводняемый в зоне T за счет криогенного напора; обводнение грунтовое, сезонное, цикличное, постоянное	Слабо обводняемый при условии $H_{тр} > M_1$; обводнение грунтовое, симметричное, постоянное, убывающее	Слабо обводняемый за счет притока поверхностных и талых вод; обводнение грунтовое, симметричное, прогрессирующее (в зоне T)
	Равнинный поперечно-стоковый (рс)	То же	Интенсивно обводняемый; зимние подъемы УГВ, возможно образование наледей; обводнение грунтовое и поверхностное, асимметричное	Обводняемый; обводнение асимметричное со стороны водотока, поверхностное, локальное	Слабо обводняемый; обводнение поверхностное, локальное, асимметричное	Интенсивно обводняемый; обводнение грунтовое и поверхностное, локальное, постоянное	Обводняемый; обводнение локальное, постоянное, грунтовое, в весенне-осенний период грунтовое и поверхностное	Слабо обводняемый	Слабо обводняемый; обводнение поверхностное, локальное, асимметричное
	Склоновый поперечно-стоковый (сч)	-"-	Интенсивно обводняемый; обводнение грунтовое асимметричное с нагорной стороны, сезонное, цикличное	Обводняемый при $H_{тр} > M_1$; обводнение грунтовое, в дождливый период грунтовое и поверхностное, постоянное, асимметричное	Обводняемый; обводнение сезонное, убывающее зоны T	Интенсивно обводняемый за счет криогенного напора; обводнение грунтовое и поверхностное, асимметричное, прогрессирующее в зонах Π и T	Обводняемый; обводнение грунтовое и поверхностное, асимметричное, сезонное	Слабо обводняемый при $H_{тр} > M_1$; обводнение грунтовое, асимметричное	Слабо обводняемый
	Склоновый продольно-стоковый (сп)	-"-	Необводняемый	Слабо обводняемый; при уклоне $> 7°$ – необводняемый	Необводняемый	Слабо обводняемый; обводнение грунтовое, постоянное, симметричное, убывающее	Необводняемый	Слабо обводняемый	Необводняемый
Отрицательный (о)	Равнинный бесстоковый (рб)	-"-	Необводняемый	Необводняемый; пучение при промерзании водоносного слоя	То же	Необводняемый	То же	Необводняемый	То же
	Равнинный поперечно-стоковый (рс)	Слабо обводняемый, обводнение локальное, асимметричное, постоянное и сезонное	Обводнение без воздействия на трубопровод, асимметричное, грунтовое и поверхностное	Необводняемый	-"-	То же	Обводняемый в зоне Π; обводнение грунтовое и поверхностное	То же	-"-
	Склоновый поперечно-стоковый (сч)	Слабо обводняемый, обводнение асимметричное с нагорной стороны постоянное, прогрессирующее	Необводняемый: небольшие подъемы УГВ с нагорной стороны; наледообразование при $H_{мн.пром} > M_1$; труба изолирована мерзлым ядром; обводнение асимметричное, прогрессирующее	То же	-"-	Необводняемый; незначительное поверхностное обводнение с нагорной стороны	Необводняемый в зоне T; сезонное обводнение в зоне Π; грунтовое и поверхностное, асимметричное	-"-	-"-
	Склоновый продольно-стоковый (сп)	Необводняемый	Необводняемый	-"-	-"-	Необводняемый	Необводняемый	-"-	-"-

Примечания: 1. В таблице приняты обозначения: $h_в$ – глубина залегания грунтовых вод; $\xi_{пр}$ – глубина сезонного промерзания; $H_{тр}$ – глубина траншеи; M_1 – мощность верхнего водоносного слоя грунта; $H_{мн\ пром}$ глубина многолетнего промерзания.
2. Зоны T, Π, E соответствуют рис.6.

Таблица 7

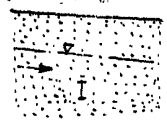
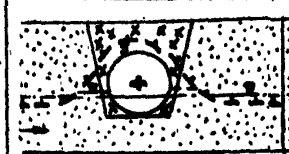
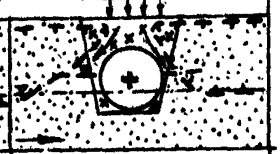
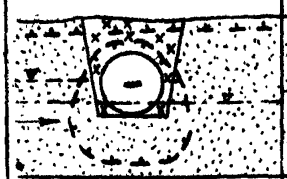
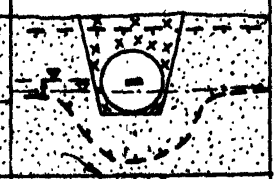
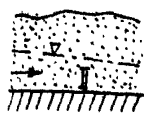
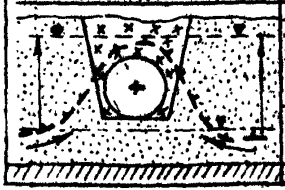
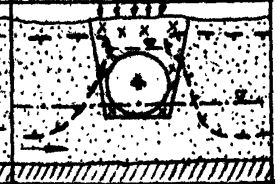
Категории участков подземного трубопровода по их потенциальному обводнению

Интенсивно обводняемый	Обводняемые	Слабо обводняемые	Обводняемые в зоне Π (без воздействия на трубопровод)	Необводняемые
$II\text{-}П^{п}_{рб}$, $II\text{-}П^{п}_{сч}$, $II\text{-}П^{п}_{рс}$, $У\text{-}П^{п}_{рб}$, $У\text{-}П^{п}_{сч}$, $У\text{-}П^{п}_{рс}$	$III\text{-}П^{п}_{рб}$, $III\text{-}П^{п}_{сч}$, $III\text{-}П^{п}_{рс}$, $IУ\text{-}П^{п}_{сч}$, $УI\text{-}П^{п}_{сч}$, $УI\text{-}П^{п}_{рб}$, $УI\text{-}П^{п}_{рс}$	$I\text{-}П^{о}_{рс}$; $I\text{-}П^{о}_{сч}$, $III\text{-}П^{п}_{сп}$, $IУ\text{-}П^{п}_{рб}$, $IУ\text{-}П^{п}_{рс}$, $У\text{-}П^{п}_{сп}$, $УП\text{-}П^{п}_{рб}$, $УП\text{-}П^{п}_{рс}$, $УП\text{-}П^{п}_{сп}$, $УП\text{-}П^{п}_{сч}$, $УШ\text{-}П^{п}_{рб}$, $УШ\text{-}П^{п}_{сч}$, $УШ\text{-}П^{о}_{рс}$	$II\text{-}П^{о}_{сч}$, $II\text{-}П^{п}_{рс}$, $У\text{-}П^{о}_{сч}$, $УI\text{-}П^{о}_{сч}$, $УI\text{-}П^{о}_{рс}$	$I\text{-}П^{п}_{рб}$, $I\text{-}П^{п}_{сч}$, $I\text{-}П^{п}_{сп}$, $I\text{-}П^{п}_{рс}$, $I\text{-}П^{о}_{рб}$, $I\text{-}П^{о}_{сп}$, $II\text{-}П^{о}_{сп}$, $II\text{-}П^{п}_{сп}$, $II\text{-}П^{о}_{рб}$, $III\text{-}П^{п}_{рб}$, $III\text{-}П^{о}_{рб}$, $III\text{-}П^{о}_{сп}$, $III\text{-}П^{о}_{сч}$, $III\text{-}П^{о}_{рс}$, $IУ\text{-}П^{п}_{сп}$, $IУ\text{-}П^{о}_{рб}$, $IУ\text{-}П^{о}_{сч}$, $IУ\text{-}П^{о}_{рс}$, $IУ\text{-}П^{о}_{сп}$, $У\text{-}П^{о}_{сп}$, $У\text{-}П^{о}_{рс}$, $У\text{-}П^{о}_{рб}$, $УI\text{-}П^{п}_{сп}$, $УI\text{-}П^{о}_{рб}$, $УI\text{-}П^{о}_{сп}$, $УП\text{-}П^{о}_{рб}$, $УП\text{-}П^{о}_{сч}$, $УП\text{-}П^{о}_{сп}$, $УП\text{-}П^{о}_{рс}$, $УШ\text{-}П^{п}_{сп}$, $УШ\text{-}П^{о}_{рб}$, $УШ\text{-}П^{о}_{сч}$, $УШ\text{-}П^{о}_{рс}$, $УШ\text{-}П^{о}_{сп}$

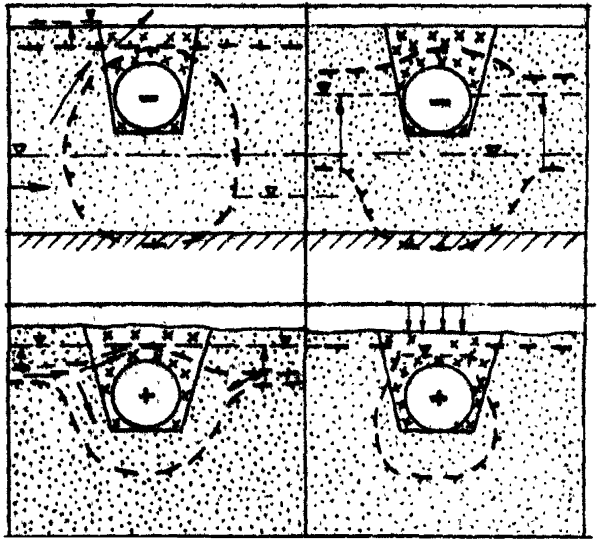
Примечание. В таблице приняты следующие условные обозначения:
I-УШ - типы геологического разреза (см.рис.3);
П - подземный тип прокладки трубопровода;
виды прокладки трубопровода (см.рис.5): рб - равнинный бесстоковый; рс - равнинный поперечностоковый ; сч - склоновый поперечностоковый ; сп - склоновый продольностоковый;
температурный режим трубопровода: о - отрицательный, п - положительный.

Таблица 6

Принципиальная схема взаимодействия трубопровода с обводненным грунтовым массивом

Тип гидрогеологического разреза	Тепловое состояние пород	Период года: Осень – зима (а)	Период года: Зима–весна (б)	Изменение гидрогеологических условий и инженерно-геологические процессы
	Талые породы, неглубокое сезонное промерзание			Незначительное повышение уровня грунтовых вод (УГВ); в зоне теплового влияния трубопровода (а,б)
Безнапорные грунтовые воды, УГВ=1,5-2 м; глубокое залегание водоупора				Труба изолирована от грунтовых вод ореолом промерзания: незначительное повышение УГВ со стороны потока (а); возможно возникновение небольшого напора (б)
	Талые породы, глубокое сезонное промерзание			Возникновение напора, повышение УГВ, переход грунта в плывунное состояние (а) Повышение УГВ за счет инфильтрации талых вод (б)

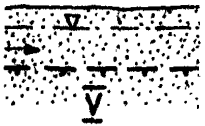
Безнапорные грунтовые воды, УГВ=2-2,5 м; близкое залегание водоупора



Труба изолирована от грунтовых вод ореолом промерзания:

повышение УГВ, возможно возникновение напора и образование наледи (а);

возникновение напора (б)



Многолетнемерзлые породы

Безнапорные воды сезонно-талого слоя

возникновение напора, подъем уровня воды в зоне влияния трубопровода. Переход грунта в плывунное состояние (а)

значительное повышение УГВ за счет инфильтрации талых вод в ореол промерзания (б)

5. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ УСЛОВИЯХ

5.1. В зависимости от теоретической основы методы прогноза режима грунтовых вод подразделяются на четыре основные группы:

гидродинамические;

балансовые;

вероятностно-статистические;

гидрогеологической аналогии.

5.2. Методической основой применения всех методов гидрогеологического прогноза является районирование территории по типам, подтипам, классам и подклассам режима грунтовых вод в соответствии с п.3.1-3.12. Степень детальности районирования определяют по стадии проектирования в соответствии с разделом 6.

5.3. В зависимости от объема информации об естественном режиме грунтовых вод на данном участке гидрогеологический прогноз можно проводить:

при наличии данных гидрогеологических наблюдений - непосредственно по этим данным;

при недостаточности данных гидрогеологических наблюдений путем приведения их к многолетнему периоду по участкам-аналогам с более длинными рядами наблюдений;

при отсутствии наблюдений - по формулам или картам, обобщающим совокупность данными наблюдений всей сети гидрогеологических станций.

5.4. Прогноз режима грунтовых вод при сооружении магистральных трубопроводов следует выполнять на весь срок службы сооружения и проводить в два этапа:

прогноз естественного режима грунтовых вод;

прогноз техногенного режима, включая строительный и эксплуатационный периоды.

5.5. Методы гидрогеологического прогноза для трубопроводного строительства и различных типов режима грунтовых вод нужно выбирать в зависимости от задач и видов прогноза (табл.9).

5.6. Гидрогеологический прогноз в естественных условиях (зона *Е*, рис.6) сводится к определению максимального УГВ на основе гидрогеологической типизации, выполненной с учетом:

Таблица 9

Виды и методы прогнозов для оценки изменения гидрогеологических условий при сооружении магистральных трубопроводов

Зоны режима грунтовых вод по трассе трубопровода (по рис.6)	Виды прогноза	Методы гидрогеологического прогноза
Естественная	Прогноз максимального УГВ при междуречном режиме	Балансовые Вероятностно-статистические Гидрогеологической аналогии
Е	Прогноз максимального УГВ при гидрологическом режиме*	Гидродинамические
Переходная	Прогноз понижения УГВ за счет дренажа и определение зоны дренирующего влияния траншеи	Гидродинамические (расчеты горизонтального дренажа; аналоговое моделирование)
П	Прогноз повышения УГВ за счет барражирующего влияния трубы и определение зоны подтопления; для холодных и отрицательных трубопроводов – с учетом многолетнего промерзания вокруг трубы	Гидродинамические (аналоговое моделирование) Балансовые
	Прогноз глубины многолетнего промерзания вокруг трубы	Методы геокриологического прогноза**
Техногенная	Прогноз притока дождевых и талых вод в траншею	Балансовые
Т	Прогноз притока напорных вод в траншею	Гидродинамические
	Прогноз прорыва напорных вод через дно траншеи	Согласно СНиП II-I5-74 (п.5.23 настоящих Рекомендаций)
	Прогноз зимнего подъема УГВ в зоне теплового влияния трубопровода за счет криогенного напора	Гидродинамические (аналоговое моделирование)
	Прогноз глубины многолетнего протаивания под трубопроводом	Методы геокриологического прогноза**

Окончание табл.9

Зоны режима грунтовых вод по трассе трубопровода (по рис.6)	Виды прогноза	Методы гидрогеологического прогноза
Техногенная *T*	Прогноз водопритока от оттаивания льдистых грунтов в основании трубопровода	Балансовые
	Прогноз глубины многолетнего протаивания под трубопроводом	Методы геокриологического прогноза**

* Прогноз глубины и площади поверхностного обводнения выполняют гидрологическими методами.

** Методы здесь не рассматриваются.

режима грунтовых вод;

состава и строения геологического разреза;

наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород;

величины деятельного слоя.

5.7. Выбор методов гидрогеологического прогноза в естественных условиях целесообразно осуществлять с учетом принадлежности территории к гидрологическому или междуречному подклассу режима грунтовых вод.

5.8. При гидрологическом режиме грунтовых вод следует применять гидродинамический метод Форхгеймера (в соответствии с пп.5.10, 5.11).

Для междуречного режима грунтовых вод в соответствии с п.5.1 применимы следующие методы прогноза: балансовые, вероятностно-статистические, гидрогеологической аналогии.

5.9. Гидродинамические методы прогноза построены на функциональных связях между некоторыми обобщенными показателями факторов (сток, инфильтрация, подпор) и последующими изменениями уровня грунтовых вод. Эти методы включают:

аналитическое решение дифференциальных уравнений,

отражающих законы неустановившегося движения подземных вод;

решение дифференциальных уравнений неустановившегося движения подземных вод в конечно-разностной форме;

моделирование гидрогеологических условий и протекающих в них процессов.

Для применения гидродинамических методов необходимо знание гидрогеологических параметров водоносного горизонта, получаемых при наблюдениях в гидрогеологических скважинах. При отсутствии специальных исследований для расчетов можно пользоваться справочными региональными таблицами (прил.2, рекомендуемое).

5.10. Метод Форхгеймера позволяет связывать колебания УГВ с колебаниями поверхностных вод реки.

Расчет максимального УГВ рекомендуется выполнять по упрощенной формуле

$$Z = Z_\rho \cdot e^{-L\sqrt{\frac{\pi\mu}{2khT}}}, \qquad (I)$$

где Z – максимальный УГВ в скважине в результате подпора поверхностными водами реки, м;

Z_ρ – максимальный подъем или спад уровня в реке над ее средним уровнем, м;

L – расстояние от реки до скважины, м;

μ – коэффициент недостатка насыщения (водоотдачи), доли единицы;

k – коэффициент фильтрации, м/сут ;

h – средняя мощность водоносного горизонта, м;

T – полупериод колебаний горизонта воды в реке, сут.

Пример расчета по формуле (I) дан в прил.3, обязательном (пример I).

5.11. При расчете максимальных уровней грунтовых вод с гидрологическим подклассом режима за исходные данные принимают максимальные уровни воды в реках с 5%-ной обеспеченностью, которые рассчитывают любыми методами гидрологического прогноза согласно [3].

5.12. Балансовые методы прогноза режима грунтовых вод основаны на решении уравнения водного баланса грунтового потока

относительно изменения уровня за определенный промежуток времени и требуют знания всех элементов водного баланса, которые определяют экспериментальным путем с использованием специальных приборов и установок или рассчитывают по режимным данным.

Уравнение водного баланса грунтовых вод записывают в следующем виде:

$$\omega_i + \omega_к \pm \omega_п + q_1 = E + q_2 \pm p, \qquad (2)$$

где ω_i – величина инфильтрации за время Δt, мм;
$\omega_к$ – величина конденсации за время Δt, мм;
$\omega_п$ – водообмен с соседним горизонтом, мм;
q_1, q_2 – боковые приток и отток за время Δt, мм;
E – внутрипоровое испарение, мм;
$\pm p$ – невязка в балансе, мм.

Составляющие баланса определяют по формулам:

$$\omega_i = K\left[\frac{h_3^2 - h_2^2}{\ell_1 \cdot \ell_2} + \frac{h_2^2 - h_1^2}{\ell_1 \cdot \ell_2}\right]; \qquad (3)$$

$$\omega_к = \frac{W_e \gamma f}{10}; \qquad (4)$$

$$\omega_п = \frac{k_2 \cdot \Delta h}{m_2}; \qquad (5)$$

$$q_1 = K \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot \frac{H_1 - H_2}{\ell_1}; \qquad (6)$$

$$q_2 = K \frac{h_2 + h_3}{2} \cdot \frac{H_2 - H_3}{\ell_2}, \qquad (7)$$

где ℓ_1, ℓ_2 – соответственно расстояние между скважинами I–2 и 2–3, м;
h_1, h_2, h_3 – соответственно мощности водоносного горизонта в скважинах I, 2, 3, м;
q_1, q_2 – величины бокового притока и оттока грунтовых вод, м/сут;
H_1, H_2, H_3 – абсолютные отметки уровней в скважинах I, 2, 3, м;
K – коэффициент фильтрации, м/сут;

k_2 – коэффициент фильтрации соседнего водоносного горизонта, м/сут;

W_e – естественная влажность грунтов зоны аэрации, доли единицы;

Δh – повышение уровня напорных вод над уровнем безнапорных вод, м;

γ – объемный вес грунтов зоны аэрации, г/см^3;

f – мощность зоны аэрации, м;

m_2 – мощность соседнего водоносного горизонта, м.

Для расчета составляющих водного баланса грунтовых вод по формулам (3,5,6 и 7) необходимо иметь одновременные замеры УГВ по трем скважинам гидрогеологического профиля.

5.13. Вероятностно-статистические методы гидрогеологического прогноза (в частности, методы парной и множественной корреляции, гармонический анализ) позволяют устанавливать корреляционные зависимости между изменениями уровня и одним или несколькими факторами.

Необходимо учитывать, что для избыточно-увлажненных территорий весенний максимум в значительной степени определяется метеорологическими условиями зимнего (в провинции сезонного питания) и осеннего и зимнего периодов (в провинции круглогодичного питания).

При прогнозе весенних максимальных уровней грунтовых вод следует использовать следующие предсказатели:

в провинции сезонного питания – зимние осадки (за декабрь-январь, декабрь-февраль);

в провинции круглогодичного питания – уровень за январь или февраль, сумму осенних осадков и в отдельных случаях зимние осадки и температуры воздуха.

В общем случае уравнение регрессии весеннего максимума имеет вид

$$y = a + \sum_{1}^{2} b_j \cdot x_j, \qquad (8)$$

где y – весенний максимальный уровень, м;

x_j – предсказатели (зимние уровни, зимние осадки);

a, b_j – коэффициенты корреляции.

Применение вероятностно-статистических методов требует проведения режимных наблюдений.

5.I4. Метод гидрогеологических аналогий является наиболее приемлемым для прогноза гидрогеологических условий протяженных трасс трубопроводов в естественных условиях. Сущность метода заключается в обоснованном перенесении определенных характеристик режима подземных вод с изученного участка, который по этим характеристикам можно рассматривать в качестве аналога.

Метод аналогов следует широко применять для предварительных оценок, а также при решении сравнительно простых гидрогеологических задач, когда проведение изысканий для их оценки затруднительно.

Этот метод позволяет использовать:

аналогию гидрогеологических условий в пространстве при составлении прогноза по аналогии с репрезентативным наблюдательным пунктом;

результаты наблюдений по одному или группе наблюдательных пунктов в прошлом для прогноза по аналогии того или иного положения УГВ в будущем.

5.I5. При наличии для района строительства материалов длительных наблюдений за глубиной залегания грунтовых вод максимальный прогнозный уровень в заданной точке на трассе в сходных природных условиях может быть определен по формуле [4]

$$H_{пр} = \frac{H}{h'} h_{пр} , \qquad (9)$$

где $H_{пр}$ – прогнозный уровень грунтовых вод в заданной точке на трассе, м;

H – уровень грунтовых вод в заданной точке на трассе на момент изысканий, м;

h' – измеренный в тот же день (на момент изысканий) уровень грунтовых вод в скважине, для которой имеется ряд наблюдений, м;

$h_{пр}$ – прогнозный максимальный уровень грунтовых вод в наблюдательной скважине, м.

Величину $h_{пр}$ определяют статистически (п.5.I6). Приемлемость того или иного способа зависит от длины имеющегося ряда наблюдений за уровнем грунтовых вод.

5.16. Если станция располагает длительным рядом наблюдений за уровнем грунтовых вод (20–30 лет), то $h_{пр}$ можно определить по формуле

$$h_{пр} = h_{ср} - t\sigma, \qquad (10)$$

где $h_{ср}$ – средний годовой наивысший уровень грунтовых вод за n лет наблюдений, м;

σ – среднее квадратическое отклонение (стандарт) величины $h_{ср}$;

t – нормированное отклонение наивысшего уровня грунтовых вод от среднегодового по заданной обеспеченности.

Среднее квадратическое отклонение определяют по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_i - h_{ср})^2}{n-1}}, \qquad (11)$$

где h_i – наивысший уровень грунтовых вод за i -й год, м;

n – число лет наблюдений.

Расчет прогнозного УГВ по формуле (9) дан в обязательном приложении 3 (пример 2).

5.17. При отсутствии в исследуемом районе материалов наблюдений за режимом грунтовых вод прогнозный УГВ может быть определен по единовременным замерам в процессе изысканий с помощью типовых графиков сезонных колебаний УГВ в соответствии с типизацией режима ГВ, схема которой изложена в пп.3.1 – 3.12.

В этом случае необходимо учитывать климатические, грунтовые, гидрогеологические условия местности и определять тип, подтип, класс, подкласс и вид режима грунтовых вод изучаемой территории (см.рис.2 и табл.3).

5.18. В нарушенных условиях в зоне с переходным режимом грунтовых вод (зона $\overline{\Pi}$,рис.6) по трассе трубопровода следует прогнозировать:

величину понижения уровня грунтовых вод за счет дренирующего влияния траншеи;

размеры зоны дренирующего влияния траншеи;

величину подпора грунтовых вод при барражирующем влиянии трубы и возможного ореола промерзания вокруг трубы;

размеры зоны подтопления за счет барражного эффекта от трубы и насыпи.

5.19. Понижение уровня можно определять с помощью общепринятых формул расчета горизонтального дренажа [5,6].

5.20. Для определения зоны дренирующего влияния траншеи $\mathcal{L}$, в которой уложен трубопровод, может быть использована формула [5]

$$\mathcal{L} = \sqrt{\frac{K}{\omega_i}\left(H^2 - h_0^2\right)}, \qquad (12)$$

где K – коэффициент фильтрации, м/сут;

H – мощность водоносного горизонта, м;

ω_i – инфильтрация, м/сут;

h_0 – высота уровня над водоупором в процессе водопонижения, м.

5.21. Подпор грунтовых вод трубой и размеры зоны подтопления можно прогнозировать с применением гидродинамических и балансовых методов.

В особо сложных гидрогеологических условиях (при наличии резкой неоднородности фильтрационных свойств водоносного горизонта в плане и в разрезе, сложных контуров водоносных горизонтов и подстилающих их водоупоров, неравномерном инфильтрационном питании грунтовых вод) вместо гидродинамических расчетов рекомендуется применять аналоговое моделирование.

5.22. В нарушенных условиях в зоне с техногенным режимом грунтовых вод (зона T, рис.6) виды прогноза гидрогеологических условий определяются процессом взаимодействия трубопровода с грунтовым массивом (см.разд.4, табл.8).

5.23. Прогноз прорыва напорных вод через дно траншеи рекомендуется осуществлять согласно СНиП II-15-74 [7] на основе соотношения

$$\gamma_в \; H_в \leq \gamma_г \cdot H_г \,, \qquad (13)$$

где $\gamma_в$ – удельный вес воды, г/см^3;

$H_в$ – напор воды, м;

$\gamma_г$ – объемный вес относительно водоупорного грунта, г/см^3;

$H_г$ – мощность грунта в основании траншеи, м.

Пример расчета по формуле (I3) приведен в обязательном приложении 3 (пример 3).

Максимальные уровни грунтовых вод, криогенный напор, водопритоки от оттаявших грунтов можно рассчитывать гидродинамическими и балансовыми методами. Основой для этого является прогноз размеров техногенного водоносного талика. Этот прогноз следует осуществлять по методике расчета глубины многолетнего протаивания вокруг трубопровода, разработанной во ВНИИСТе.

Прогноз криогенного напора в зоне теплового влияния трубопровода должен быть проведен с учетом раздела 4.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМУ ИЗУЧЕНИЮ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

6.I. Исходными данными для гидрогеологического прогноза при трубопроводном строительстве должны быть материалы гидрогеологических исследований, проводимых при инженерно-геологических изысканиях в соответствии с общими требованиями СНиП II-9-78 [8], СНиП II-45-75 [9] и ведомственных нормативных документов по изысканиям для линейного строительства.

6.2. Гидрогеологические исследования должны:

обеспечивать гидрогеологическое изучение района строительства магистральных трубопроводов;

давать необходимые исходные данные для выбора оптимальных по гидрогеологическим условиям трасс и разработки технически правильных и экономически целесообразных решений при проектировании и строительстве трубопроводов.

6.3. Гидрогеологические исследования, являясь составной частью инженерно-геологических изысканий, выполняются в две стадии:

для выбора трассы;

для проекта.

6.4. Методика, виды и объемы исследований на стадии выбора трассы определяются степенью изученности территории и включают:

а) предварительные работы по сбору, анализу и обобщению данных о гидрогеологических условиях района строительства;

б) полевые работы в полосе выбора трассы, объем которых определяется изученностью территории (пп.6.II; 6.I3).

6.5. Задачами сбора, анализа и обобщения данных о гидрогеологических условиях района должны быть:

определение гидрогеологических условий для различных вариантов направления трассы;

производство предварительного районирования трасс по режиму грунтовых вод;

определение необходимого состава и объема гидрогеологических работ при инженерно-геологической рекогносцировке.

6.6. Основными источниками информации о гидрогеологических условиях при сборе материалов на стадии выбора трассы являются:

топографические карты масштабов I:I00000, I:50000, I:25000;

материалы государственной гидрогеологической съемки масштаба I:500000, I:200000;

результаты гидрогеологических исследований при изысканиях под крупные и небольшие объекты промышленного, гражданского и другого вида строительства, включающие, в частности, данные по водно-физическим свойствам пород по опытно-фильтрационным работам;

данные режимных гидрогеологических и гидрологических станций или отдельных объектов;

результаты инженерно-геологического дешифрирования аэрофото- или космических снимков;

итоги специальных тематических исследований по гидрогеологии, инженерной геологии.

6.7. В результате анализа и систематизации данных составляют схематические карты гидрогеологических условий и гидрогеологического районирования, на которых должны быть уточнены границы провинций, зон и областей по типам, подтипам и классам режима грунтовых вод, выделенных в соответствии с рис.2.

6.8. На схематических картах гидрогеологического районирования необходимо с учетом фактического материала, собранного в соответствии с требованиями п.6.6, наметить ключевые участки в пределах выделенных районов, которые могут служить эталонами для всего гидрогеологического района.

6.9. Полевые работы при выборе трассы в районах, изученных в гидрогеологическом отношении, могут быть ограничены гидрогеологическими рекогносцировочными исследованиями, выполненными в составе инженерно-геологических изысканий.

6.10. Инженерно-геологическая рекогносцировка включает:

аэровизуальные наблюдения - для уточнения результатов предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов, оконтуривания заболоченных и заозеренных участков, границ литолого-генетических типов грунтов;

наземные маршруты, при которых осуществляют:

а) единичные гидрогеологические, геоморфологические наблюдения;

б) уточнение дешифрирования аэрофотоснимков, проходку отдельных скважин и замеры УГВ в них;

в) опробование грунтовых и поверхностных вод.

6.11. В районах со сложными природными условиями и слабой гидрогеологической изученностью рекогносцировка должна быть заменена гидрогеологической съемкой, выполняемой в комплексе с инженерно-геологической съемкой (силами Мингео) в масштабе 1:200000 с применением аэрокосмических и геофизических методов.

Детальные исследования и гидрогеологические наблюдения следует проводить на ключевых участках, где закладывают режимную сеть гидрогеологических скважин, наблюдение в которых необходимо вести также на следующей стадии изысканий и в течение всего срока службы трубопровода.

6.12. На ключевых участках проводят:

съемочные маршруты;

бурение скважин и замеры УГВ;

геофизические работы;

опробование грунтов и грунтовых вод.

В съемочных маршрутах следует:

выполнять гидрогеологические, гидрологические и мерзлотные наблюдения;

уточнять результаты предварительного дешифрирования аэрофотоматериалов (в масштабе I:25000).

6.I3. На ключевых участках изучают водоносные горизонты с целью получить данные о:

глубине залегания грунтовых вод;

химическом составе вод;

взаимосвязи грунтовых и напорных вод;

фильтрационных свойствах водонасыщенных пород.

6.I4. Районирование территории ключевых участков проводят по видам режима грунтовых вод в соответствии с пп.3.8-3.I2.

Количество наблюдательных скважин определяют в зависимости от неоднородности гидрогеологических условий. Створы скважин должны быть расположены на междуречных пространствах по направлению общего уклона земной поверхности, на террасах и поймах - по нормали от водоразделов к реке.

Глубину бурения скважин назначают в зависимости от мощности первого от поверхности водоносного горизонта; глубина бурения должна превышать УГВ на I-2 м.

6.I5. Глубину залегания уровня грунтовых вод оценивают:

по замерам в скважинах или колодцах;

по косвенным признакам (по глубине местной эрозионной сети, геоботаническим признакам, по уровням воды в озерах и прудах).

Для единовременных замеров УГВ в съемочных скважинах рекомендуется использовать гидрогеологический зонд (приложение 4, обязательное).

6.I6. Информацию о гидрогеологических условиях на основе уточненных индикационных зависимостей дополняют результатами бурения и геофизических исследований, после чего проводят экстраполяцию в пределах ландшафта и ландшафтов-аналогов, если таковые имеются.

6.I7. Для приведения к максимальным уровням разновременных данных об УГВ, полученных в период осуществления гидрогеологической съемки, необходима организация наблюдательной сети гидрогеологических скважин на ключевых участках в соответствии с п.6.I4.

6.I8. Основные задачи режимных наблюдений сводятся к изучению:

региональных естественных закономерностей режима грунтовых вод;

естественного водного баланса грунтовых вод.

6.19. Частота замеров УГВ должна составлять в первый год наблюдений 3 раза в месяц, в последующие годы - до I раза в месяц.

6.20. Обработка и анализ материалов наблюдений за режимом грунтовых вод заключается в построении хронологических графиков колебаний УГВ и гидролого-климатических элементов, определяющих эти колебания (температуры и дефицита влажности воздуха, атмосферных осадков, уровней и расходов рек) по ближайшим метеостанциям и гидрологическим постам.

6.21. На стадии выбора трассы на заболоченных территориях выделяют и оконтуривают крупные болотные массивы и проводят типизацию болот по ландшафтным признакам. Должны быть составлены карты заболоченности и заозеренности в масштабе I:I00000 по всей полосе трассы.

Во время изысканий на ключевых участках устанавливают, в основном, по ландшафтным признакам следующие характеристики болот:

границы;

мощность торфяной залежи;

генезис;

источники водного питания;

направление поверхностного и внутреннего стока;

относительное увлажнение отдельных участков;

ландшафтный тип;

микрорельеф;

тепловое состояние грунтов (талые или мерзлые).

6.22. Результаты работ по гидрогеологическим изысканиям при выборе трассы должны быть оформлены в виде раздела технического отчета, в котором приводят следующие сведения:

состав, объем и методы выполненных работ;

наличие водоносных горизонтов;

фильтрационные свойства пород;

основные источники питания и места разгрузки грунтовых вод;

уровни грунтовых вод, приведенные к максимальным значениям;

химический состав грунтовых вод, их агрессивность по отношению к бетону;

характер соотношения грунтовых вод и многолетнемерзлых пород;

гидрогеологические процессы и явления;

рекомендации по проведению последующих гидрогеологических исследований.

6.23. В качестве графических приложений к отчету рекомендуется составлять:

карту гидрогеологической изученности;

схематические карты гидрогеологического районирования в масштабе I:200000 - I:I00000 с врезками масштаба I:25000 на ключевые участки;

продольные профили по вариантам трасс с показом прогнозных УГВ, приведенным к максимальным значениям;

карты заболоченности и заозеренности.

6.24. При инженерных изысканиях на стадии проекта изучают гидрогеологические условия по выбранной трассе с целью:

установить УГВ и привести их к максимальным значениям;

установить напоры близко залегающих к поверхности подземных вод;

определить характер водоносного горизонта (состав, распространение и генетическую приуроченность);

установить связь между режимом грунтовых вод и гидрометеорологическими факторами;

определить фильтрационные характеристики водовмещающих грунтов;

оценить агрессивность грунтовых вод по отношению к строительным конструкциям на основе изучения их химического состава.

6.25. Химический состав грунтовых вод изучают для определения степени агрессивного воздействия и коррозионной активности воды по отношению к бетону и металлам в соответствии с требованиями ГОСТ 9.015-74 и главы СНиП II-28-73.

6.26. Фильтрационные характеристики грунтов должны быть установлены на основании полевых и лабораторных исследований грунтов в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-75 и главы СНиП II-I5-74.

Ориентировочные значения коэффициента фильтрации грунтов можно определять по справочным таблицам (приложение 2, рекомендуемое).

6.27. Изыскания на болотах должны быть проведены в соответствии с классификацией болот для целей трубопроводного строительства (приложение 5, обязательное). В этом случае должны быть получены следующие характеристики и расчетные параметры болот:

тип болотного ландшафта;

протяженность;

заозеренность;

амплитуда колебаний поверхности болот;

модуль проточности;

состав болотных грунтов;

мощность болотной залежи;

мощность сплавины;

тепловое состояние (мерзлое - талое);

льдистость грунтов (для мерзлых болот);

кислотность и коррозионная активность болотных грунтов.

6.28. Результаты гидрогеологических исследований, перечисленных в п.6.24-6.27 , отражаются на инженерно-геологических профилях.

6.29. При выполнении инженерно-геологической съемки на избыточно-увлажненных территориях и в районах распространения вечной мерзлоты обязательным видом работ должно быть обследование построенных трубопроводов.

Следует тщательно систематизировать материалы по опыту строительства и эксплуатации трубопроводных систем, связанные с изменением гидрогеологических условий.

В процессе осмотра фиксируют деформации, возникшие из-за недостаточного учета гидрогеологических условий. Одновременно по имеющейся проектной и исполнительной строительной документации, а также по опросам собирают сведения о характере развития деформаций во времени, о способах борьбы с ними, об эффективности этих мер.

Собранные данные должны быть представлены в виде актов обследования по форме, приведенной в приложении 6, рекомендуемом.

6.30. На отдельных участках действующего трубопровода рекомендуется оборудовать створы гидрогеологических скважин по нормали и направлению трассы для наблюдений за изменением гидрогеологических условий при сооружении и эксплуатации трубопровода.

Гидрогеологические наблюдения следует вести одновременно с наблюдениями за тепловым состоянием пород: глубиной и сроками сезонного промерзания-протаивания, температурой пород. Для этого рядом с гидрогеологическими скважинами оборудуют термометрические скважины или устанавливают мерзлотомеры (приложение 7, рекомендуемое).

6.31. Результаты работ по гидрогеологическим изысканиям на стадии проекта должны быть оформлены в виде раздела отчета, в котором приводят сведения, изложенные в пп.6.22 и 6.23, но соответственно большей детализации.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение I
Обязательное

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ

I. Как указано в п.3.I, территория СССР подразделяется на три провинции по типам режима грунтовых вод: кратковременного, сезонного и круглогодичного питания.

2. В провинции *А* кратковременного режима питания грунтовых вод , где распространены многолетнемерзлые породы, основными региональными закономерностями режима грунтовых вод являются сезонные изменения агрегатного состояния воды в слое сезонного оттаивания.

В период, когда надмерзлотные воды перемерзают, колебаний их уровня не происходит. С наступлением устойчивых положительных температур воздуха, сезонного оттаивания грунта наступает весенне-летний подъем УГВ. Этот подъем обусловлен инфильтрацией талых и атмосферных вод, со временем выпадения которых и совпадают сроки повышения УГВ. Максимального положения уровень грунтовых вод достигает в середине теплого периода.

Режим грунтовых вод сквозных и надмерзлотных таликов аналогичен режиму питания грунтовых вод провинции *Б*.

3. В провинции *Б* сезонного режима питания грунтовых вод годовой цикл колебаний УГВ имеет следующую закономерность.

Весенний подъем уровня грунтовых вод происходит с началом снеготаяния и достигает своего максимума после полного оттаивания всего промерзшего слоя. Максимальное положение уровня грунтовых вод непродолжительно, в весенне-летний период начинается его спад.

Выпадение атмосферных осадков может вызвать кратковременное повышение уровня грунтовых вод или замедление его понижения.

Осенью с наступлением затяжных дождей уровень грунтовых вод повышается, достигая в некоторых случаях значительной вели-

чины. С началом промерзания грунтов наблюдается понижение уровня грунтовых вод вплоть до достижения его наинизшего положения в конце зимы. Оттепели во второй половине зимы могут вызывать кратковременные подъемы уровня грунтовых вод.

При одинаковых или близких метеорологических условиях зимне-весеннего периода амплитуда весеннего подъема уровня грунтовых вод определяется в значительной степени составом и водно-физическими свойствами водоносных пород.

Характеристика режима грунтовых вод в провинции *Б* сезонного питания приведена в табл.I данного приложения.

Таблица I

Режим грунтовых вод в провинции сезонного питания *Б* (по п.3.I)

Индекс зон	Подтип (зона) режима грунтовых вод	Характеристика подтипа режима
I	Обильного питания	Обязательный предвесенний годовой минимум, два максимума: весенний и осенний. Летний спад уровня осложнен кратковременными подъемами за счет выпадения осадков. Весенний максимум равен годовой амплитуде: I–I,5 м. Начало подъема на севере зоны – май, на юге – первая половина апреля
2	Умеренного питания	Четкий весенний максимум в марте–апреле. Плавный летний спад. Осенний подъем выражен менее четко; сроки его наступления смещены ближе к зиме. Годовой минимум неустойчив, возможен осенью или в конце зимы. Годовая амплитуда I,8–2,5 м
3	Скудного питания	Весенний максимум выражен слабо (февраль–март), годовой минимум – осенью, летний спад определяет годовую амплитуду 0,7–0,9 м

4. В провинции *В* круглогодичного режима питания грунтовых вод характерным является возможность подъема уровня грунтовых вод независимо от сезона, что связано с их питанием атмосферными осадками в течение всего года.

Примеры графиков режима грунтовых вод в провинциях *А*, *Б* и *В* приведены на рис.I данного приложения.

5. Как указано в п.3.5, выделяют четыре подкласса режима грунтовых вод: междуречный, склоновый, террасовый и гидрологический.

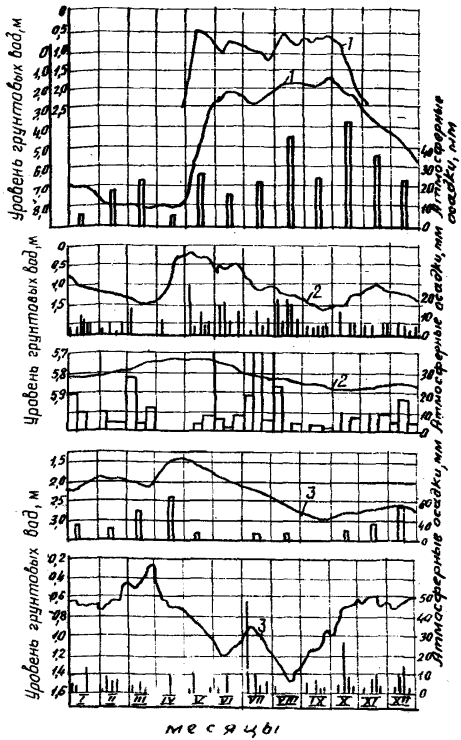


Рис.I. Графики колебаний уровня грунтовых вод в провинциях с различными типами режима [I]:

I-в провинции А (кратковременного питания); 2 -в провинции Б (сезонного питания); 3-в провинции В (круглогодичного питания)

6. Междуречный подкласс режима грунтовых вод свойственен грунтовым водам водораздельных пространств. Грунтовые воды этого подкласса формируются под влиянием, главным образом, процессов инфильтрации и испарения, т.е. под влиянием вертикального перемещения влаги в зоне аэрации. Подземный приток и отток грунтовых вод имеет подчиненное значение по сравнению с названными элементами баланса. Уклоны потоков грунтовых вод небольшие.

Междуречный подкласс режима грунтовых вод характеризуется четкими сезонными колебаниями, амплитуда которых при прочих равных условиях, начиная с определенной глубины, уменьшается с увеличением глубины залегания УГВ (рис.2 данного приложения) [10].

7. Склоновый подкласс режима грунтовых вод характерен для склонов долин рек, дренирующих грунтовые воды. Склоновый подкласс режима формируется под влиянием, главным образом, подземного притока и оттока, инфильтрация осадков и испарение с поверхности грунтовых вод имеют подчиненное значение. Сезонные колебания УГВ в районах со склоновым подклассом режима грунтовых вод характеризуются значительной сглаженностью, связанной с постоянным притоком грунтовых вод с водораздельных пространств.

Крутизна и высота склона определяют во многом глубину залегания грунтовых вод на склоне и амплитуды их колебаний.

Амплитуда колебаний грунтовых вод на крутых склонах больше, чем на пологих, на которых имеются возможности для инфильтрации атмосферных осадков.

Кривая колебаний уровня грунтовых вод со склоновым подклассом режима характеризуется подъемом уровней вод весной (в связи со снеготаянием), а иногда летом и осенью (в связи с дождями). Пики подъемов УГВ следуют с запаздыванием по сравнению с пиками для грунтовых вод прилежащего водораздела.

8. Террасовый подкласс режима грунтовых вод характерен для террас рек. Этот подкласс мало отличается от склонового и так же, как последний, формируется в результате преобладания в балансе грунтовых вод притока и оттока по сравнению с инфильтрацией и испарением.

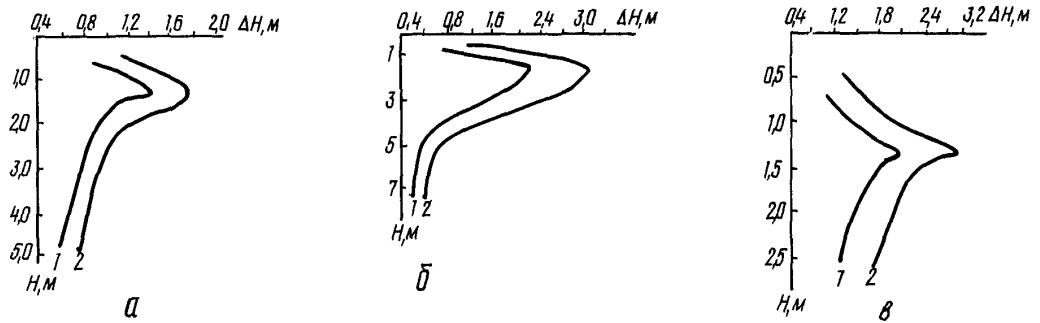


Рис.2. Зависимость среднегодовых (I) и многолетних (2) амплитуд колебаний ΔH от глубины залегания среднемноголетних и среднегодовых уровней грунтовых вод H в различных грунтах:

а – в мелкозернистых песках; б – в супесях; в – в суглинках

9. Для районов с междуречным, склоновым и террасовым подклассами режима грунтовых вод нет непосредственной гидравлической связи между грунтовым потоком и поверхностными водами.

10. Гидрологический подкласс режима грунтовых вод приурочен к узким полосам вдоль берегов рек, озер и морей. Для грунтовых вод этого подкласса характерно наличие гидравлической связи с поверхностными водами и, как следствие этого, значительная синхронность колебаний грунтовых и поверхностных вод. Главными элементами баланса грунтовых вод этого подкласса является приток грунтовых вод, вызванный подъемами уровней в поверхностных водотоках, или их отток при снижении уровней поверхностных вод.

К гидрологическому подклассу относятся приречный, приозерный и приморский режимы грунтовых вод.

Приречный режим грунтовых вод характеризуется гидравлической связью потока грунтовых вод с рекой; колебания уровня этих вод зависят от колебания горизонта воды в реке.

Во время паводков взаимосвязь поверхностных и грунтовых вод определяется:

подпором грунтовых вод;

фильтрацией поверхностных вод в водоносные горизонты;

передачей гидростатического напора;

комбинированным воздействием трех предыдущих форм, наиболее часто встречаемых.

В полосе влияния реки выделяют две зоны (рис.3 данного приложения):

а - зона с обратным уклоном грунтовых вод, подъем уровня в которой происходит с участием фильтрации поверхностных вод;

б - зона с прямым (к реке) уклоном грунтовых вод, подъем уровня в которой происходит за счет подпора грунтовых вод.

Размеры зон зависят от:

литологического состава водовмещающих пород, который определяет коэффициенты фильтрации и недостатки насыщения пород;

величины амплитуды колебаний поверхностных вод (т.е. от величины исходного подпора подземных вод);

длительности воздействия паводков.

Зона *а* имеет протяженность от нескольких метров до десятков или сотен метров, протяженность зоны *б* достигает нескольких километров (рис.3 и 4 данного приложения).

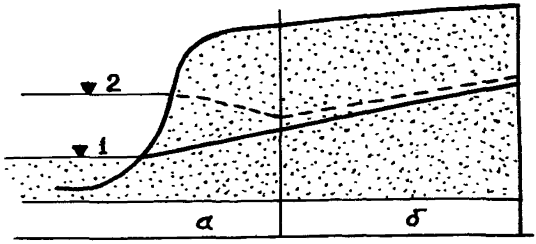


Рис.3. Изменение уровня грунтовых вод в районе с гидрологическим подклассом режима:

а-зона с обратным уклоном грунтовых вод; б-зона с прямым уклоном (к реке) грунтовых вод; 1-уровень грунтовых и поверхностных вод до паводка; 2-после паводка

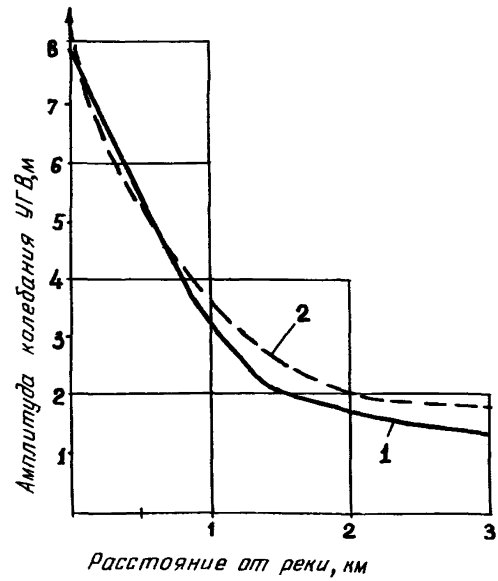


Рис.4. Зависимость амплитуд колебаний уровня грунтовых вод от расстояния до р.Оби в разные годы:

I - 1972 г.; 2 - 1973 г.

Длительность прохождения паводков у рек составляет от одной до четырех недель, а для больших рек в отдельные годы достигает 3 мес.

Продолжительность стояния высокого уровня в озерах в два с лишним раза больше, чем в реках. Амплитуда колебаний уровня озерных вод невелика и редко превышает 1-2 м, зона воздействия режима озер на грунтовые воды незначительна и выявить ее довольно трудно.

Приморский режим грунтовых вод характерен колебаниями УГВ, которые вызываются приливами и отливами и распространяются в глубь берега на еще меньшие расстояния.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

II. На территории Тюменской области выделяют следующие мерзлотно-гидролого-климатические зоны (рис.5 и табл.2 данного приложения):

зона пониженной теплообеспеченности, весьма избыточного увлажнения, прерывистого распространения многолетнемерзлых пород и мелкого сезонного оттаивания (А1);

зона недостаточной теплообеспеченности, весьма избыточного увлажнения, сплошного распространения многолетнемерзлых пород и мелкого сезонного оттаивания (А3, А2);

зона пониженной теплообеспеченности, избыточного увлажнения, островного распространения многолетнемерзлых пород и глубокого сезонного промерзания (Б1);

зона оптимального сочетания теплообеспеченности и увлажнения в средний и сухой год, сезонного промерзания ($Б2_1$);

зона достаточной теплообеспеченности, недостаточного увлажнения в средний год и оптимального - во влажный год, сезонного промерзания ($Б2_2$);

зона достаточной теплообеспеченности, оптимального увлажнения во влажный год и недостаточного - в средний и сухой год, мелкого сезонного промерзания ($Б2_3$).

I2. Для территории Западно-Сибирской низменности характерны близкие к поверхности уровни грунтовых вод с кратковременным и сезонным типами режима.

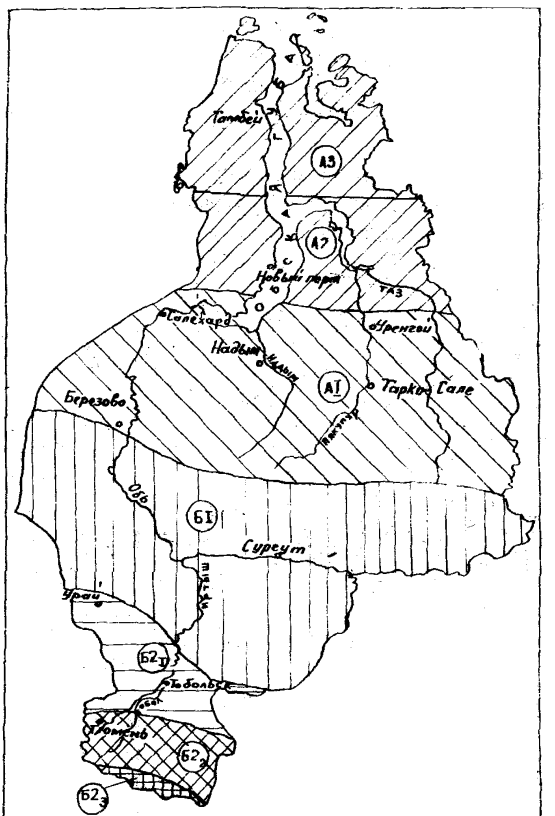


Рис.5. Мерзлотно-гидролого-климатические зоны Тюменской области (за основу взята карта гидролого-климатических зон Тюменской обл. В.С.Мезенцева и И.В.Карнацевича (1971 г.):

А1, А2, А3, Б1, $Б2_1$, $Б2_2$, $Б2_3$ – индексы зон (прил.1, п.9)

В районах распространения многолетнемерзлых грунтов Западной Сибири мощность водоносного горизонта и характер его питания определяются временем и глубиной сезонного оттаивания (см.табл.2 данного приложения).

Амплитуды сезонных колебаний близко залегающих грунтовых вод на севере Западной Сибири можно принять ориентировочно равными I-I,5 м.

В направлении с юга на север сроки наступления весеннего максимума УГВ запаздывают и для территории Западной Сибири могут быть приняты следующими:

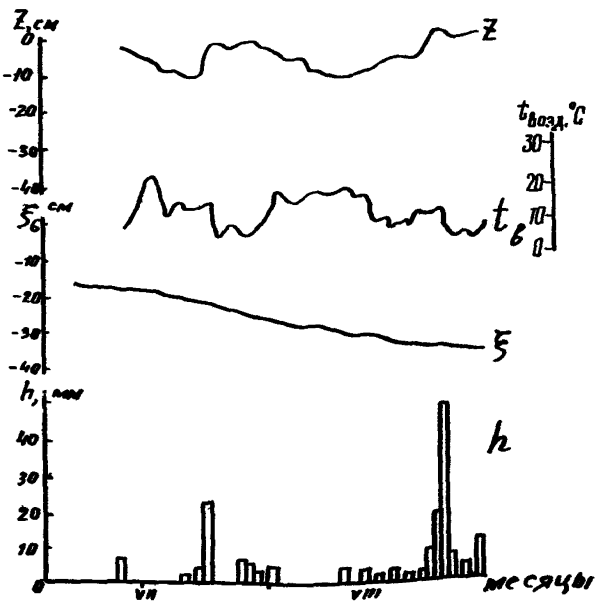


Рис.6. График колебания уровня болотных вод (Z), температуры воздуха (t_0), глубины оттаивания (ξ) и атмосферных осадков (h) на полигональном болоте, расположенном в зоне А2 (по рис.5 прил.I, пос.Тазовский)

Таблица 2

Основные характеристики мерзлотно-гидролого-климатических зон Западной Сибири

Мерзлотно-гидролого-климатические зоны (по рис.5, прил.I)	Гидролого-климатические характеристики (по В.С Мезенцеву)			Мерзлотно-гидрогеологические характеристики							
	Годовая сумма осадков, мм	Годовой сток, мм	Суммарное испарение, мм	Режим питания грунтовых вод (по А.А.Коноплянцеву)		Сезонное оттаивание (максимальная глубина залегания криогенного водоупора), м		Сезонное промерзание, м		Модуль подземного стока, л/с на км^2	Дата начала сезонного промерзания (числитель) и дата начала сезонного оттаивания (знаменатель)
				тип	подтип	пески	торф	пески	торф		
А3	350	-	-	Кратковременного питания	Скудного питания	0,6-I,2	0,2-0,5	2,7-4,6	I,I-I,8	I,0-I,5	2I.IX-I.X / 2I.VI-2I.VII
А2	350-400	300-400	425-450		Умеренного питания	0,9-2,I	0,4-0,7	2,I-4,5	0,9-I,8	I,0-2,5	2I.IX-I.X / II.VI-2I.VI
АI	400-550	225-300	450-475		Обильного питания	I,4-2,5	0,5-0,8	I,8-4,4	0,4-I,7	2,0-3,0	2.X-8.X / I.VI-II.VI
БI	550-600	I40-250	475-500 и более	Сезонного питания	Обильного питания	I,7-2,9	0,6-0,9	I,3-3,7	0,6-I,5	I,2-4,0 и более	8.X-I7.X / I.V-I.VI
$Б2_I$	430-450	65-I40	450-475		Умеренного питания	-	-	I,2-3,2	0,5-I,3	0,5-I,2	I7.X-I9.X / ранее I.V
$Б2_2$	370-430	50-65	400-450			-	-	I,3-2,5	0,4-I,2	0,I-0,5	I9.X-2I.X / ранее I.V
$Б2_3$	<370	50	<400			-	-	I,2-2,0	0,4-I,I	<0,I	Позднее 2I.X / ранее I.V

Таблица 3

Общая заболоченность территории и характеристика озерности северной части лесоболотной зоны Западно-Сибирской равнины

Бассейны реки (до устья)	Площадь водосбора, км²	Общая площадь болот, км²	Общая площадь внутриболотных озер, км²	Заболоченность бассейна, %	Озерность на болотах, %	Общее число озер на болотах	Плотность озер (число озер на 1 км² площади болот)	Средний размер озер, га
			Район Сургутского Полесья					
Тром-Юган	56300	36000	6810	64	18,9	69320	1,92	9,8
Аган	31900	18200	3230	57	17,8	40490	2,46	8,0
Пим	11600	9700	2460	84	25,4	22330	2,30	11,1
Лямин	15900	12200	2360	77	19,4	28830	2,36	8,2
			Бассейны рек Надыма и Казыма					
Надым	11500	3740	300	33	8,0	3890	1,04	7,7
Казым	35600	10500	1200	30	10,4	14840	1,41	8,1
			Район левобережья Оби к югу от широтного участка реки					
Большой Юган	34200	11200	420		3,8	6660	0,60	6,3
Малый Юган	9970	2770	105		3,8	2020	0,73	5,2
Большой Салым	15900	7450	340		4,6	4770	0,64	7,1
Туртас	12700	5650	158		2,8	1740	0,31	9,1
Демьянка	34400	18500	800		4,3	11690	0,63	6,9
			Бассейны рек Конды и Северной Сосьвы					
Конда - устье	72900	38600	3200	53	8,3	22020	0,57	15
Мулымья (Мутом) - устье	7700	3200	418	41,5	13,0	3320	1,04	12
Супра - устье	1660	460	18	28	3,9	300	0,66	6
Большой Тетер - устье	1110	800	113	72	14,1	470	0,59	24
Ссуль- устье	3760	1470	100	39,5	6,8	430	0,29	23
Ендырь - устье	3940	1170	48	30	4,1	225	0,19	17
Северная Сосьва - устье	97300	12500	343	13	2,7	3860	0,31	8,9
			Бассейны рек Вах и Тым					
Тым - устье	32520	9270	241	28	2,6	3810	0,41	6,3
Вах - устье	75360	29030	2670	38	9,3	33990	1,17	7,8

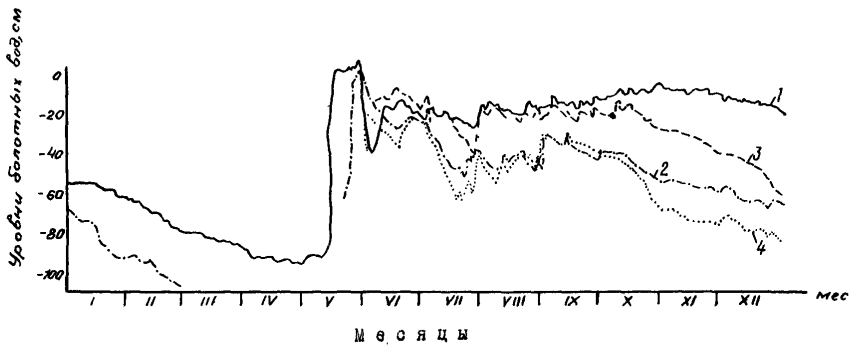


Рис.7. Графики колебаний уровня болотных вод за многоводный 1971 г. (1,3) и маловодный 1969г. (4,2) в пределах зоны А1(болотный пост Нумто)[11] для различных микроландшафтов:
1,2 - сфагновоосоково-шейхцериевого;3,4 - сфагново-кустарничково-лишайникового

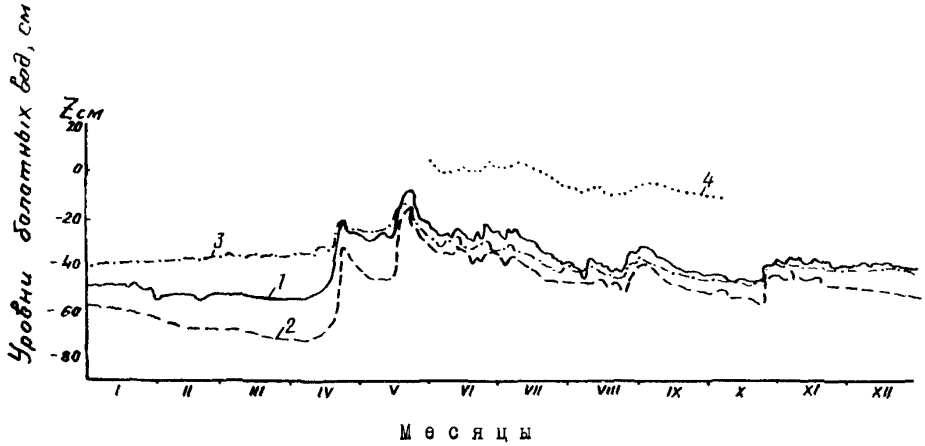


Рис.8. Графики колебаний уровня болотных вод в пределах зоны БI (Самотлорский болотный массив, 1970 г.) [II] для различных микроландшафтов:

I - сфагново-кустарничково-соснового; 2 - сфагново-кустарничкового, облесенного сосной; 3 - грядово-мочажинного (гряда); 4 - грядово-мочажинного (мочажина)

Зона	Месяц весеннего максимума
AI и A2	август
A3	июль
БI	июнь
Б2	май

I3. При гидрогеологической характеристике территории Западной Сибири следует особо выделить болота, имеющие широкое распространение (табл.3 данного приложения).

Уровень болотных вод является интегральной характеристикой соотношения элементов водного баланса: осадков, испарения, горизонтального стока (притока), вертикального водообмена с грунтовыми водами подстилающих горизонтов (у талых болот).

Особенности режима болотных вод связаны с условиями промерзания - протаивания, обусловленными климатической зональностью.

Колебания уровней болотных вод подчиняются следующим закономерностям:

колебания уровней в годовом и многолетнем разрезе незначительны и составляют в среднем 0,2-0,4 м;

максимальные подъемы уровней ГВ характерны для периода весеннего снеготаяния;

высокое стояние уровней ГВ отмечается в течение летне-осеннего периода;

низкая зимняя межень (для непромерзающих болот).

Характерные графики колебаний уровней болот, расположенных в различных мерзлотно-гидролого-климатических зонах Тюменской области, представлены на рис.6, 7, 8 данного приложения.

Приложение 2
Рекомендуемое

ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Для применения гидродинамических методов прогноза необходимо знание гидрогеологических параметров водоносного горизонта, получаемых при наблюдениях в скважинах или лабораторным путем. При отсутствии специальных исследований для расчетов можно использовать справочные региональные данные, пример которых приведен в табл.I и 2 данного приложения.

Таблица I

Коэффициенты фильтрации (К) торфа в зависимости от степени разложения (R)

Степень разложения торфа (R , %)	К (см/с)
Неразложившийся (до IO%)	0,002-0,006
Малоразложившийся (IO-20%)	0,008-0,002
Среднеразложившийся (20-30%)	0,0002-0,0008
Хорошо разложившийся (30-50%)	0,000I-0,0002
Сильно разложившийся (> 50%)	> 0,000I

Таблица 2

Справочная таблица водно-физических свойств поверхностных отложений Западной Сибири [I2]

Район, элемент рельефа	Вид грунта	Объемная масса грунта, г/см³	Пористость, %	Коэффициент фильтрации $K_ф$, м/сут
I	2	3	4	5
Центральная часть Сибирских Увалов	Песок средней крупности	I,53-2,20	22-46	I,5-9,0
		I,7 (I9)	37(I9)	6,4(I4)
	Песок мелкий	I,54-2,I0	29-47	I,2-6,6
		I,86 (48)	35(48)	3,8(45)
	Песок пылеватый	I,58-I,86	35-48	3,I-3,8
		I,74(4)	43(4)	3,3
Верховья бассейна р.Таз и Верхне-Тазовская возвышенность	Песок крупный	I,8I-I,98	36-40	3,4-II,2
			37	9,6

Продолжение табл.2

I	2	3	4	5
Верховья бассейна р.Таз и Верхне-Тазовская возвышенность	Песок средней крупности	I,77-2,00	33-46 38	6,2-5,7 7,3
	Песок мелкий	I,58-I,78	36-47 44	2,I-5,8 3,7
	Песок пылеватый	-	-	-
Бассейн Сев. Сосьвы и западная часть Белогорского материка	Песок гравелистый	I,82-I,94	40-4I	-
	Песок крупный	-	-	-
	Песок средней крупности	-	-	До 8,0
	Песок мелкий	I,52-I,70	40-47 45	I,5-3,5 2,3
	Песок пылеватый	I,42-I,78	42-6I 47	0,5-2,7 I,I
	Супесь	I,59-2,00	35-46 4I	0,45-0,70 0,57
Северная Обь - Енисейская обл. и прилегающие районы Тазовской и Гыданской областей, Салехардская свита	Песок средней крупности	I,45-I,87 I,67	33-5I 48	-
	Песок мелкий	I,40-I,85 I,6I	33-5I 45	I,0-II,0 4,0
	Песок пылеватый	I,38-2,22 I,63	27-52 47	0,8-3,0 I,7
П-ов Ямал, морская равнина, Салехардская свита	Песок мелкий	-	4I-52 46	2,6
	Песок пылеватый	-	35-73 44	0,3-3,0 I,4
Бассейн р.Надым, I-я надпойменная терраса долины Надыма	Песок крупный	-	37-4I 38	I,6-9,4 7
	Песок средней крупности	-	36-44 39	2,8-I0,0 6,6
	Песок мелкий	-	36-44 40	I,I-8,0 3,0
	Песок пылеватый	-	33-46 4I	0,I-5,I I,2
	Супесь	-	38-50 43	-

Окончание табл.2

Район, элемент рельефа	Вид грунта	Объемная масса грунта, г/см³	Пористость, %	Коэффициент фильтрации $K_ф$, м/сут
Бассейн р.Надым, пойма р.Надыма	Песок крупный	-	39	9,0
	Песок средней крупности	-	37-45 41	2,0-9,1 6,0
	Песок мелкий	-	36-45 42	0,6-9,0 4,0
	Песок пылеватый	-	39-57 45	0,2-5,4 1,0
	Супесь	-	49-52	0,1-0,7

Примечание. В числителе показан размах значений показателей свойств грунтов, в знаменателе - их среднеарифметические значения, в скобках - количество определений.

Приложение 3
Обязательное

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ПРИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПРОГНОЗЕ

Пример I. При изысканиях в скважине на расстоянии L = =100 м от реки на 20 августа УГВ был равен h_1 = 2,0 м.

Требуется определить максимальный уровень грунтовых вод h_{max} в данной скважине.

Грунтовые воды гидравлически связаны с поверхностными водами реки, и максимальный УГВ будет определяться максимальным подъемом воды в реке.

В районе изысканий имеется гидрологический пост, по данным которого находим величину весеннего максимального подъема уровня воды в реке. Z_p = 2 м и средний полупериод колебаний уровня T = 40 сут.

Спад уровня в реке наступает к середине июля. По материалам изысканий средняя глубина залегания водоупора m = 10 м, водоносные отложения представлены песками мелкозернистыми с коэффициентом фильтрации k = 10 м/сут (определяем лабораторным методом).

Коэффициент недостатка водонасыщения μ принимаем по справочникам, равным 0,1.

Среднюю мощность водоносного горизонта определяем как $h = m - h_1$ = 10–2,0 = 8,0 м.

Подставляя в формулу (I) п.5.10 известные параметры, получим максимальный подъем уровня грунтовых вод в скважине над средним уровнем

$$Z = Z_p e^{-L\sqrt{\frac{\pi\mu}{2khT}}} = 2e^{-100\sqrt{\frac{3,14\cdot 0,1}{2\cdot 10\cdot 8\cdot 40}}} = 2\frac{1}{e^{0,70}} = \frac{2}{2,01} \approx 1,0 \text{ м}.$$

Следовательно, прогнозный максимальный уровень грунтовых вод в скважине составит

$$h_{max} = h_1 - Z = 2,0 - 1,0 = 1,0 \text{ м}.$$

Пример 2. При проведении инженерно-геологических изысканий 10 августа в скважине № 5 был замерен уровень грунтовых вод H = 2 м от поверхности земли.

Требуется определить прогнозный максимальный уровень грунтовых вод на данном участке $H_{пр}$ с 5%-ной обеспеченностью.

В районе изысканий в сходных природных условиях расположена гидрогеологическая станция, на которой проводят наблюдения за уровнями грунтовых вод в течение n = 20 лет.

Расчетный максимальный уровень грунтовых вод в скважине № 5 определяем по формуле (9) п.5.I5

$$H_{пр} = \frac{H}{h'} h_{пр}.$$

В наблюдательной скважине на гидрогеологической станции I0 августа данного года уровень грунтовых вод h' = 2,5 м.

Прогнозный максимальный уровень грунтовых вод на станции $h_{пр}$ определяем по формуле (I0) п.5.I6

$$h_{пр} = h_{ср} - t\sigma,$$

где $h_{ср}$ - средний годовой наивысший уровень в наблюдательной скважине на станции за 20 лет наблюдений;

σ - среднее квадратическое отклонение величины $h_{ср}$ определяем по формуле (II) п.5.I6

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (h_i - h_{ср})^2}{20-1}},$$

где h_i - наивысший уровень грунтовых вод на станции в i - й год наблюдений;

t - нормированное отклонение h_i от $h_{ср}$ при заданной 5%-ной обеспеченности, определяем по табл.I [4]. В данном случае t = 2,09.

Исходные параметры и результаты расчета величин $h_{ср}$ и σ приведены в табл.2:

$$h_{ср} = \frac{38,0}{20} = 1,90 \text{ м};$$

$$\sigma = \frac{3,85}{20-1} = 0,2025 = 0,45;$$

$$h_{пр} = 1,90 - 2,09 \cdot 0,45 = 0,96 \text{ м}.$$

Откуда максимальный прогнозный уровень в скважине № 5 по формуле (9) п.5.I5 составит

$$H_{пр} = \frac{2,0}{2,5} \cdot 0,96 = 0,77 \text{ м}.$$

Таблица I

Нормированное отклонение t наивысшего УГВ от среднегодового при 5%-ной обеспеченности

n-I	t	n-I	t
9	2,26	2I	2,08
I0	2,23	22	2,07
II	2,20	23	2,07
I2	2,I8	24	2,06
I3	2,I6	25	2,06
I4	2,I4	26	2,06
I5	2,I3	27	2,05
I6	2,I2	28	2,05
I7	2,II	29	2,05
I8	2,I0	30	2,04
I9	2,09	40	2,02
20	2,09	60	2,00

Таблица 2

Исходные данные для расчета $h_{пр}$ в примере 2

Годы	h_i, м	$h_i - h_{ср}$ м	$(h_i - h_{ср})^2$, м^2
I	2,05	0,I5	0,0225
2	I,85	0,05	0,0025
3	I,96	0,06	0,0036
4	2,07	0,I7	0,0289
...	...	...	...
20	2,23	0,33	0,I089
Итого ...	38,0		Σ = 3,85

Пример 3. Требуется определить, на какую максимальную глубину можно прорыть траншею, чтобы избежать прорыва грунтовых вод через ее дно, если под суглинками, слагающими верхнюю часть разреза, залегают пески с напорными подземными водами.

Известны:

мощность суглинка $H_г$ = 2,35 м;

объемный вес суглинка $\gamma_г$ = I,4 г/см^3;

величина напора подземных вод $H_в$ = 0,3 м.

Дно траншеи можно считать устойчивым, если соблюдается следующее условие (см.формулу(I3),п.5.23):

$$I,0 \cdot 0,3 \leq I,4 \cdot H_г.$$

Это условие справедливо при мощности грунта в основании траншеи $H_г \geq 0,22$ м.

Следовательно, траншею можно вырыть до глубины $h_{тр} \leq h - H_г$

$$h - H_г = 2,35 - 0,22 = 2,I3 \text{ м},$$

т.е. $h_{тр} \leq 2,I3$ м.

Приложение 4
Обязательное

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ЗОНД

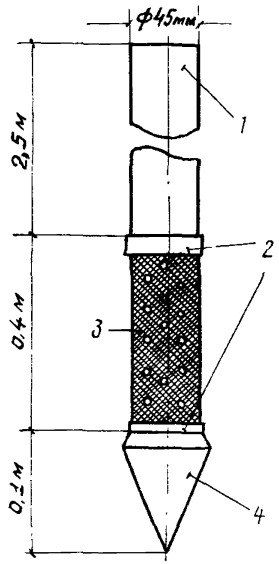
При проведении инженерно-геологических изысканий следует рекомендовать гидрогеологические зонды (конструкция ВНИИСТа).

Гидрогеологический зонд (рисунок) представляет собой трубу дюралевую или полиэтиленовую диаметром порядка 45 мм, длиной 2-2,5 м I , на одном конце которой сделана заглушка в виде стального наконечника 4 и оборудован фильтр 3 .

При изготовлении фильтра трубу перфорируют отверстиями диаметром I-I,5см, обтягивают капроновой сеткой, которую закрепляют резиновыми муфтами 2.

Гидрогеологический зонд можно применять для определения УГВ как на стационарных площадках, так и в маршрутах при бурении неглубоких зондировочных скважин в рыхлых отложениях.

В пробуренную скважину опускают зонд до уровня водонасыщенного грунта (поскольку ниже скважина мгновенно затекает), затем с небольшим усилием вдавливают в разжиженный грунт на глубину 0,5 м. Уровень грунтовых вод, установившийся в скважине, измеряют в зонде с помощью хлопушки. При необходимости зонд легко выдергивают из скважины, и его можно использовать в другом месте.



Гидрогеологический зонд:
I-дюралевая или полиэтиленовая труба; 2-резиновые муфты для крепления сетки;3-фильтр (перфорированная труба, обернутая капроновой сеткой); 4-стальной наконечник

Гидрогеологический зонд прост в изготовлении и применении, его легко транспортировать и можно неоднократно использовать.

Приложение 5
Обязательное

КЛАССИФИКАЦИЯ БОЛОТ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

I. Предложенная классификация основана на учете всех существующих природных факторов, определяющих несущую способность поверхности болот и процессы взаимодействия болотного массива с трубопроводом.

Классификация состоит из двух частей.

2. Первая часть представляет собой классификацию природных факторов, существенных с точки зрения оценки болота при строительстве и эксплуатации трубопроводов (табл.I данного приложения). В эту часть входят I3 факторов, которые по своему содержанию можно объединить в три группы:

морфологические и генетические;

гидрологические;

геологические (строение и состояние болотного массива).

Для каждого фактора даны значения по трем категориям сложности в порядке усложнения. При выделении категорий сложности факторов учитывали значения их параметров, принятые при выборе способов прокладки и расчетах устойчивости трубопроводов.

3. Вторая часть представляет собой классификацию состава и свойств болотных грунтов (табл.2 данного приложения). По петрографическому составу болотные грунты подразделяются на 7 видов. Для каждого из видов болотных грунтов приведены физико-механические свойства:

сопротивление сдвигу в природном залегании;

модуль деформации при нагрузке 0,5 кг/см^2.

4. Выделены 3 подгруппы болотных грунтов по влажности (табл.3 данного приложения):

маловлажные;

средней влажности;

сильновлажные.

Физико-механические свойства грунтов в табл.2 даны по указанным подгруппам.

Таблица I

Классификация факторов, характеризующих болота для трубопроводного строительства

Группы факторов	Природные факторы		Категории сложности факторов (I-3)		
	Названия	Шифр	I	2	3
Морфологические и генетические	Болотный ландшафт	Б	Лесо-моховой	Травяно-моховой	Грядово-мочажинный, грядово-мочажинно-озерковый, грядово-озерковый
	Протяженность болот, м	Ш	≤ 500	500-2000	> 2000
Гидрологические	Заозеренность, %	З	< 20	20-50	> 50
	Модуль проточности, см/с	П	< 5	5-20	> 20
	Амплитуда колебаний поверхности болот при изменении обводненности, м	А	< 0,5	0,5-I,0	> I,0
Геологические (строение и состояние болотного массива)	Глубина болот (мощность болотных отложений), м	Г	< 0,7	0,7-2,0	> 2
	Мощность сплавины, м	С	< 0,5	0,5-2,0	> 2

Окончание табл.I

Группы факторов	Природные факторы		Категории сложности факторов (I-3)		
	Названия	Шифр	I	2	3
Геологические (строение и состояние болотного массива)	Несущая способность поверхности для оценки проходимости строительной техники	*Н*	Болота, целиком заполненные торфом, допускающие работу и неоднократное передвижение болотной техники с удельным давлением 0,2-0,3 кгс/см^2 или работу обычной техники с помощью щитов, сланей, дорог, снижающих давление на поверхность залежи до 0,2 кгс/см^2	Болота, целиком заполненные торфом, допускающие работу и передвижение строительной техники только по щитам, сланям, дорогам, снижающим давление на поверхность залежи до 0,I кгс/см^2	Болота, заполненные растекающимся торфом и водой с плавающей торфяной коркой (сплавиной) и без сплавины, допускающие работу только специальной техники на понтонах или обычной техники с плавучих средств
	Среднегодовая температура грунтов, °С:				
	мерзлых	*М*	0- -I	-I- -3	< -3
	талых	*Т*	0 - I	I - 3	> 3
	Льдистость, %	*Л*	<I0	I0-30	>30
	Кислотность (pH) торфа, сапропеля	*К*	3,5-4,5	4,5-5,5	5,5-8
	Коррозионная активность грунтов (удельное электрическое сопротивление, Ом/м)	*Э*	>50	50-20	<20
	Основание болотной залежи	*О*	Пески	Супеси, суглинки	Глины

Таблица 2

Классификация болотных грунтов

Вид болотных грунтов		Физико-механические свойства болотных грунтов					
Шифр	Наименование	Сопротивление сдвигу в природном залегании, кгс/см^2			Модуль деформации E (кгс/см^2) при нагрузке 0,5 кгс/см^2		
		маловлажные*	средней влажности	сильно влажные	маловлажные	средней влажности	сильно влажные
	Торф:						
Iа	слаборазложившийся $R < 40\%$	0,49–0,I6	0,26–0,II	0,I6–0,06	> 2,5	2,5–I,I	I,I–0,85
Iб	сильноразложившийся $R \geq 40\%$	0,26–0,08	0,I3–0,08	0,05–0,03			
2	Сапрель	> 0,2	0,2–0,I	< 0,I	> 3,0	3,0–I,0	< I,0
3	Болотный мергель	> 0,2	0,2–0,I	< 0,I	> I,25	< I,25	–
	Пресноводный ил:						
4а	супесчаный	0,4–0,35	0,35–0,2I	0,2I–0,I7	46–44	44–36	36–3I
4б	суглинистый	0,30–0,27	0,27–0,I7	0,I7–0,II	50–I4	40–II	I8–6
4в	глинистый	0,32–0,I3	0,24–0,02	< 0,09	I4–4	I2–3	5–2,5
5	Иольдиевые глины	$\frac{> 0{,}22^{**}}{> I{,}I \cdot 10^{-3}}$	$\frac{0{,}22\text{–}0{,}II}{(I{,}I\text{–}0{,}5)\cdot 10^{-3}}$	$\frac{0{,}II\text{–}0{,}05}{(0{,}5\text{–}0{,}25)\cdot 10^{-3}}$	–	–	–
6	Мокрые солончаки	0,84–0,26	0,26–0,2	0,02	46–25	25–I0	< I0
	Переувлажненные глинистые грунты:						
7а	супесь	0,I2	0,08	0,05	I25	I90	380
7б	суглинок	0,2I	0,I5	0,09	60	I25	I90
7в	глина	0,25	0,I3	0,07	30	30	20

* См. табл.3 данного приложения.

** Числитель – при статических нагрузках; знаменатель – при динамических нагрузках.

5. Для записи типа болот по сумме всех факторов приняты заглавные буквы русского алфавита с индексами от I до 3 по категориям сложности (по табл.I) и арабские цифры (по табл.2) с индексами от I до 3, указывающими на подгруппу грунтов по влажности (по табл.3).

Таблица 3

Классификация болотных грунтов по влажности

Грунт	Подгруппы по влажности (I-3)		
	Маловлажные (I)	Средней влажности (2)	Сильновлажные (3)
	Влажность, %		
Торф	<600	600-900	>900
Сапропель	<200	200-500	>500
Болотный мергель	<I00	I00-300	>300
Ильдиевые глины	<I00	I00-I50	I50-250
	Коэффициент консистенции, ед.		
Мокрые солончаки	0,5-0,75	0,75-2,0	> 2
Переувлажненные глинистые грунты	0,5-0,75	0,75-I,0	> I
Пресноводные илы	0,5-I,0	0,I-2,0	2,0-3,0

Полная характеристика болота с точки зрения трубопроводного строительства дана полным шифром -последовательной записью шифров каждого фактора болот и болотных грунтов, например, $Б_2 Ш_1 З_1 П_2 А_3 Г_3 С_2 Н_3 Т_2 К_1 Э_1 О_1 1а_2$.

Приведенный пример расшифровывают следующим образом: $Б_2$ - болото травяно-моховое; $Ш_I$ - протяженность болота менее 500м; $З_1$ - заозеренность менее 20%; $П_2$ - модуль проточности - от 5 до 20 см/с; $А_3$ - амплитуда колебаний поверхности болота более I м; $Г_3$ - мощность болотных отложений более 2 м; $С_2$ - мощность сплавины от 0,5 до 2,0 м; $Н_3$ - на болотах допускается работа только специальной техники на понтонах или обычной техники с плавучих средств; $Т_2$ - среднегодовая температура грунтов изменяется от +I до +3°; $К_I$ - кислотность болотного грунта - от 3,5 до 4,5; $Э_I$ - удельное электрическое сопротивление грунта составляет более 50 Ом/м; $О_I$ - основанием болотной за-

лежи служат пески; Ia_2 - болотные отложения представлены слаборазложившимся торфом средней влажности (600-900%), сопротивление сдвигу для торфа в природном залегании 0,26-0,II кгс/см^2, модуль деформации торфа при нагрузке 0,5 кгс/см^2 - I,I-2,5 кгс/см^2 (свойства грунта по табл.3).

Приложение 6
Рекомендуемое

ФОРМА АКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА

I. При инженерно-геологической оценке территории, прогнозах изменения мерзлотных и гидрогеологических условий и различных неблагоприятных геологических явлений в качестве объективного критерия необходимо использовать опыт строительства.

Анализ опыта строительства позволяет значительно сократить разведочные и лабораторные работы, особенно на ранней стадии проектирования, когда решают вопросы выбора трассы и нет необходимости в детальном изучении состояния, свойств пород и в расчетах устойчивости сооружения.

2. Обследование должно включать как деформированные, так и недеформированные трубопроводы.

Анализ деформаций трубопроводов и сопутствующих сооружений позволяет выяснить характер воздействия тех или иных естественных или техногенных факторов.

При исследовании недеформированных трубопроводов выявляют благоприятные для строительства участки, а также конструктивные решения, придающие устойчивость сооружениям, которые возводят на участках со сложными инженерно-геологическими условиями.

Изучение опыта строительства должно заключаться в обследовании состояния, устойчивости строительного объекта и выявлении причин возникновения деформаций.

3. Обследование включает:

натурный осмотр трубопровода с записями, зарисовками и фотографиями;

собеседование с лицами, участвовавшими в строительстве, ремонте и эксплуатации сооружения;

изучение проектной и исполнительной документации;

сбор данных по наблюдениям за взаимодействием трубопровода с грунтами, за развитием инженерно-геологических процессов.

Кроме того, для типичных случаев деформаций в различных инженерно-геологических условиях следует проводить контроль-

ное бурение с отбором проб для изучения водно-физических и физико-механических свойств грунта, его теплового состояния.

Для выяснения теплового влияния трубопровода на грунты основания необходимо в непосредственной близости к трубопроводу бурить скважины и делать в них одноразовые или режимные температурные и гидрогеологические наблюдения.

4. Полученную информацию об инженерно-геологических условиях в зоне влияния трубопровода следует сопоставлять с данными для естественных условий.

5. Собранные материалы должны быть представлены в виде акта обследования, пример которого представлен ниже.

АКТ № I ОБСЛЕДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Дата 23.07.83 г.

I. Тип и название трубопровода газопровод Горск-Спиридоновка, II нитка

2. Пикет I50-I60

3. Диаметр трубопровода I420 мм

4. Период строительства сентябрь I978 г. - май I979 г.

5. Срок эксплуатации 4 года 2 мес

По проекту*

6. Конструкция трубопровода (тип прокладки, глубина заложения, ширина траншеи, высота насыпи, балластировка) подземный; траншея: глубина - 2,5 м, ширина по дну - 2,3 м, откосы - I:2,5; балластировка вынутым грунтом.

7. Мероприятия по инженерной подготовке территории (выторфовывание, предварительное промораживание, планировка, подсыпка, бетонные перемычки, лотки и пр.) не проводились

8. Технология транспорта продукта (давление, температура, система охлаждения) 75 кгс/см^2, I8°С, аппараты воздушного охлаждения

9. Поверхностные условия (геоморфологический уровень, рельеф, тип болота, растительность) У морская и гляциально-морская равнина; плоская поверхность; лишайниково-багульниковое березово-лиственничное редколесье.

I0. Характеристика грунтов основания (генезис, возраст, состав грунтов, наличие мерзлоты, среднегодовая температура грунтов, глубина сезонного промерзания-протаивания, уровень грунтовых вод, физико-механические и водно-физические свойства) $m,gm\,Q_I^{2-4}$; пески мелкозернистые, на глубине 3-I0м - суглинки; многолетняя мерзлота; на I5.08.76 г. глубина сезонного протаивания - 2,6 м, уровень вод слоя сезонного протаивания - I,2 м; мерзлые пески с влажностью 0,I8, объемным весом 2,0 т/м^3; мерзлые суглинки с влажностью 0,24, объемным весом 2,04 т/м^3; среднегодовая температура грунта - минус I,2°С.

*С учетом исполнительной документации.

По данным обследования

II. Техническое состояние трубопровода (описание деформаций и их развитие по официальным документам, опросу сотрудников службы эксплуатации, результатам геодезической съемки; изоляция, балластировка, температура трубопровода) изгиб трубы в вертикальной плоскости на участке протяженностью 80м, в середине искривленного участка верхняя образующая трубы превышает поверхность земли на I,0 м; изменение положения трубы произошло весной I980 г. (сведения службы эксплуатации); на трубе прослеживается "гребень" грунта толщиной 0,2 м; балластировка отсутствует; изоляция в хорошем состоянии; температура трубопровода +I6°С.

I2. Вид прокладки* поперечностоковый

I3. Характеристика грунтов основания, обваловки и инженерно-геологические процессы под трубой образовался многолетний ореол протаивания глубиной 5,0 м, шириной I0 м; по касательной к трубе УГВ=I,5 м; обваловка разрушена на участке протяженностью 80 м; восстанавливается растительный покров

I4. Техногенные изменения территории справа по ходу газа в 50 м проложена I нитка газопровода, между двумя нитками - грунтовая дорога

I5. Оценка причин деформации всплытие трубопровода в результате повышения УГВ в зоне теплового влияния трубы

Приложения. (Схемы, фото, зарисовки, результаты геодезической съемки, таблицы, колонки скважин) - схема, разрез, температурные графики (см. рисунок данного приложения)

Акт составили: .....

.....

---

* Виды прокладки, см.п.4.6.

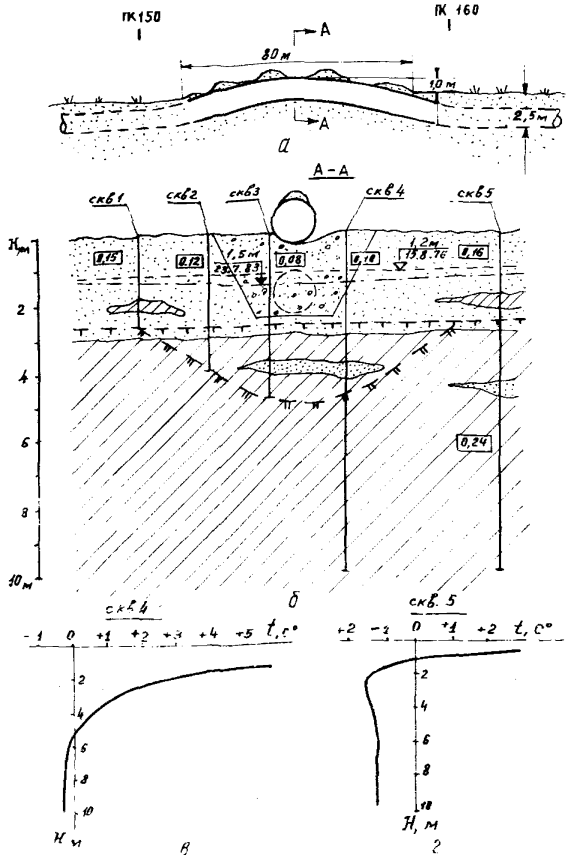


Схема (а), инженерно-геологический разрез (б) и температурные графики по скважинам (в,г) к акту обследования трубопровода: -пески; -суглинки; грунты обратной засыпки; 0,15 -влажность весовая, ед.; -верхняя граница многолетней мерзлоты до строительства; -верхняя граница многолетней мерзлоты на момент обследования; - уровень грунтовых вод до строительства; уровень грунтовых вод на момент обследования; положение газопровода на момент обследования; положение газопровода по проекту

Приложение 7
Рекомендуемое

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТЕРМОМЕТРИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ПОПЕРЕЧНИКЕ

На отдельных участках действующего трубопровода рекомендуется оборудовать инженерно-геологические поперечники скважин для комплексных наблюдений за уровнями грунтовых вод и тепловым состоянием пород. Расположение скважин следует намечать с учетом вида прокладки (см.рисунок данного приложения).

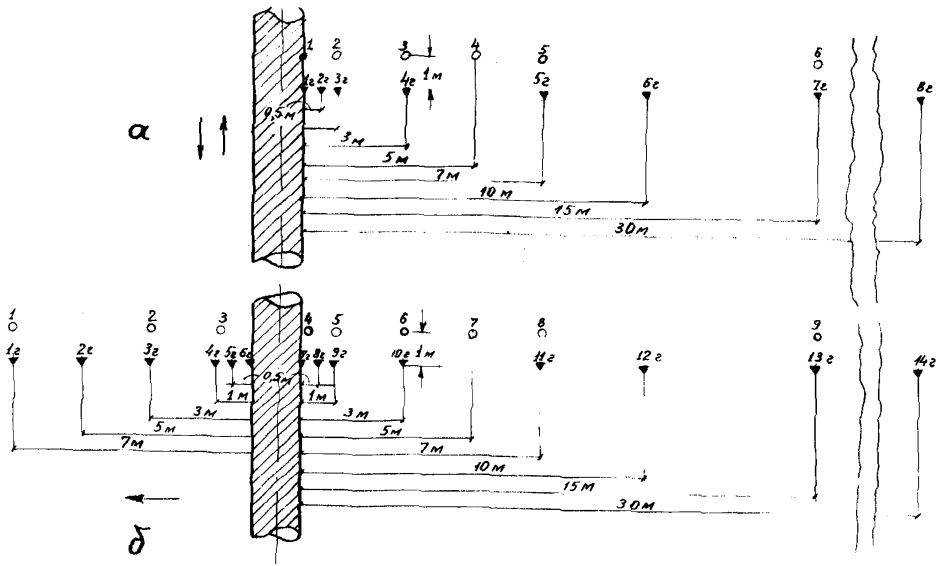


Схема расположения наблюдательных скважин на инженерно-геологическом поперечнике при различных видах прокладки трубопровода (виды прокладки трубопровода по рис.5):

а-равнинная, продольносклоновая; б-поперечносклоновая, поперечностоковая; ▼ - гидрогеологическая скважина и ее номер; ○ - термометрическая скважина и ее номер; ↓ - направление стока грунтовых вод в естественных условиях; ▨ - трубопровод

ЛИТЕРАТУРА

I. Коноплянцев А.А., Ковалевский В.С., Семенов С.М. Естественный режим подземных вод и его закономерности. М., Госгеолтехиздат, 1963, с.65,97,193-203.

2. Руководство по разработке системы строительно-инженерно-геологической классификации для сооружения трубопроводов. Р 380-80. М., ВНИИСТ, с.19.

3. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72. Л., Гидрометеоиздат, 1972.

4. Предложения по оценке и учету источников увлажнения и регулированию водного режима земляного полотна автомобильных дорог. М., Союздорнии, 1966, с.8-16.

5. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Госстройиздат, 1960.

6. Шестаков В.М. Динамика подземных вод. М., МГУ, 1973.

7. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений. СНиП II-15-74. М., Стройиздат, 1975, с.1-64.

8. Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП II-9-78. М., Стройиздат, 1979, с.1-22.

9. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. СНиП II-45-75. М., Стройиздат, 1975, с.1-60.

10. Зальцберг Э.А. Режим и баланс грунтовых вод зоны избыточного увлажнения. Л., Недра, Ленинград.отд. 1980, с.18,25-27.

11. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. (Под ред. Иванова К.Е. и Новикова С.М.). Л., Гидрометеоиздат, 1976, с.114,115,120.

12. Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М., МГУ, 1977, с.108-110,130,156.

13. Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М., ВОДГЕО-ПНИИИС, 1976, с.324.

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения 3

2. Факторы, определяющие гидрогеологические условия трасс магистральных трубопроводов 6

3. Типизация гидрогеологических условий II

4. Закономерности формирования техногенного режима грунтовых вод I9

5. Методы прогноза уровней грунтовых вод в естественных и нарушенных условиях 30

6. Требования к гидрогеологическому изучению территории при инженерных изысканиях 39

Приложения 47

Литература 83

РЕКОМЕНДАЦИИ
по гидрогеологическому прогнозу при сооружении трубопроводов на избыточно увлажненных территориях, включая районы вечной мерзлоты

Р 500-83

Издание ВНИИСТа

Редактор Т.Я.Разумовская
Корректор С.П.Михайлова
Технический редактор Т.В.Берешева

Л-75802 Подписано в печать I9/I 1984 г. Формат 60х84/I6
Печ.л. 6,0 Уч.-изд.л. 5,0 Бум.л. 3,0
Тираж 350 экз. Цена 50 коп. Заказ 6

ВНИИСТа

gost.e-ecolog.ru