

УДК 628.113.1:69 (211)

UDC 628.113.1:69 (211)

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ИЗ ПЕРЕМЕРЗАЮЩИХ РЕК В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РОССИИ

SOFTWARE OF INFORMATION SYSTEMS FOR A SMALL-SCALE BUSINESS

Вишневецкая Надежда Семёновна
аспирант

Vishnevskaya Nadezhda Semenovna
post-graduate student

Вдовин Юрий Иосифович
д.т.н., профессор
*Тольяттинский государственный университет,
Тольятти, Россия*

Vdovin Yuri Iosifovich
Dr. Sci.Tech., professor
Togliatti State University, Togliatti, Russia

В статье рассмотрены особенности водоснабжения из перемёрзших рек в районах распространения вечномёрзлых грунтов (криолитозоне) Севера России. Приведены условия образования и методика определения параметров талых водовмещающих пород – таликов – под руслами рек. Предложены конструкции водозаборных сооружений и мероприятия по регулированию подрусловых вод с защитой их от перемерзания

The particularities of water-supply are considered in article from freezing rivers in regions of spreading the eternally frozen soils (termofrost) of North of Russia. It is brought condition of formation and strategy of determination of parameters melting water receiving sorts – well know as taliks – under riverbeds of rivers. It is offered designs of intake buildings and arrangements on regulation of under riverbed water with protection them from excessive congelation

Ключевые слова: ВОДОСНАБЖЕНИЕ, РЕКИ, СЕВЕРНЫЕ РАЙОНЫ, КОНСТРУКЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ, РУСЛА, РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДРУСЛОВЫХ ВОД

Keywords: WATER SUPPLY, RIVERS, NORTHERN AREAS, DESIGNS OF WATER INTAKING CONSTRUCTIONS, CHANNELS, REGULATION OF SUB-CHANNEL WATERS

Освоение Севера России с вовлечением в хозяйственный оборот его ресурсного потенциала – важнейшая часть экономической стратегии страны. Основные запасы нефти, газа, полиметаллов, алмазов и золота, каменных углей, гидроэнергетических ресурсов, запасов пресной воды, морских биоресурсов, древесины и др. сосредоточены на Севере и Северо-Востоке РФ. Эти районы составляют до 65 % территории страны и отнесены к северной строительно-климатической зоне. Здесь проживает (2006г.) до 19...22 млн. россиян. Хозяйственно-экономические и природно-климатические условия Севера различны. Общими для них являются: суровый климат, повсеместное сплошное, прерывистое или островное залегание многолетнемерзлых грунтов (криолитозона), длительные зимы (8...9 месяцев), снегозаносы, сильные ветры (пурги), малый меженный сток рек при их перемерзании и др. В криолитозоне России (в пределах 35-170° восточной долготы от Гринвича и 50-80° северной широты) реализованы крупномасштабные проекты по освоению уникальных природных бо-

гатств, по обживанию и урбанизации обширных территорий, строительству промышленных и энергообъектов, железнодорожных и автомагистралей, трубопроводов и т.д. [1].

Успешно функционирует многоотраслевой агропромышленный комплекс (АПК) со многими сотнями сельских поселков и специфическими производствами (оленоводство, рыболовство, табунное коневодство, леспромхозы и др.) для обеспечения населения продуктами питания местного производства. В зоне Байкало-Амурской магистрали (БАМ) и в других старопромышленных районах Севера создаются молочные комплексы, птицефабрики, тепличные комбинаты, рыбоперерабатывающие комплексы, подсобные хозяйства и агроподразделения промышленных предприятий и объединений. Укрепление АПК, улучшение благоустройства северных поселений, развитие промышленных производств и др. требует надежного, бесперебойного круглогодичного снабжения населенных мест и объектов промышленности водой надлежащего качества и в достаточных объемах. Водоснабжение в криолитозоне – один из главнейших факторов развития экономики, повышения уровня и качества жизни северян, себестоимости продукции любых производств.

При организации водоснабжения любых объектов в любом районе криолитозоны надо учитывать постоянно существующую реальную, пока неустранимую угрозу перемерзания всех элементов систем водоснабжения, в том числе, и самих водоисточников. Этим определяются сложности развития технологий забора, очистки, хранения, распределения воды и мероприятий по защите акваторий водозабора и самих источников от перемерзания [1]. М.И.Сумгин отмечал: «...трудно представить, что в районах мерзлоты вода является дефицитом. Если летом реки и озера достаточны для широких хозяйственных начинаний, зимой большинство источников промерзают до дна и даже небольшая потребность в воде современных хо-

зяйствующих субъектов удовлетворяется с трудом; приходится пользоваться водой от таяния льда и снега...» [2].

Особенности климата, гидрологического и термического режима водоисточников в криолитозоне требуют особых подходов к выбору, прежде всего, водозаборных сооружений и мероприятий по мелиорации условий забора воды из источников для предотвращения их перемерзания. Правильная оценка мерзлотно-гидрогеологических условий и выбор типов водоприемников, соответствующих этим условиям, позволяют обеспечить надежный водоотбор во всех случаях, если суммарный годовой сток перемерзающих рек (поверхностный и подрусловый) превышает годовое водопотребление относительно небольших объектов (до 3000-5000 м³/сут.). Гидротепловое взаимодействие водоисточников с вечномерзлыми грунтами берегов и ложа формирует специфические мерзлотно-гидрологические явления и процессы: термокарст, термоэрозия, солифлюкция (мерзлотные оползни), наледи и др., диктующие обоснование любых хозяйственных начинаний, тем более, организацию водоснабжения и водохозяйственного строительства (рис. 1).

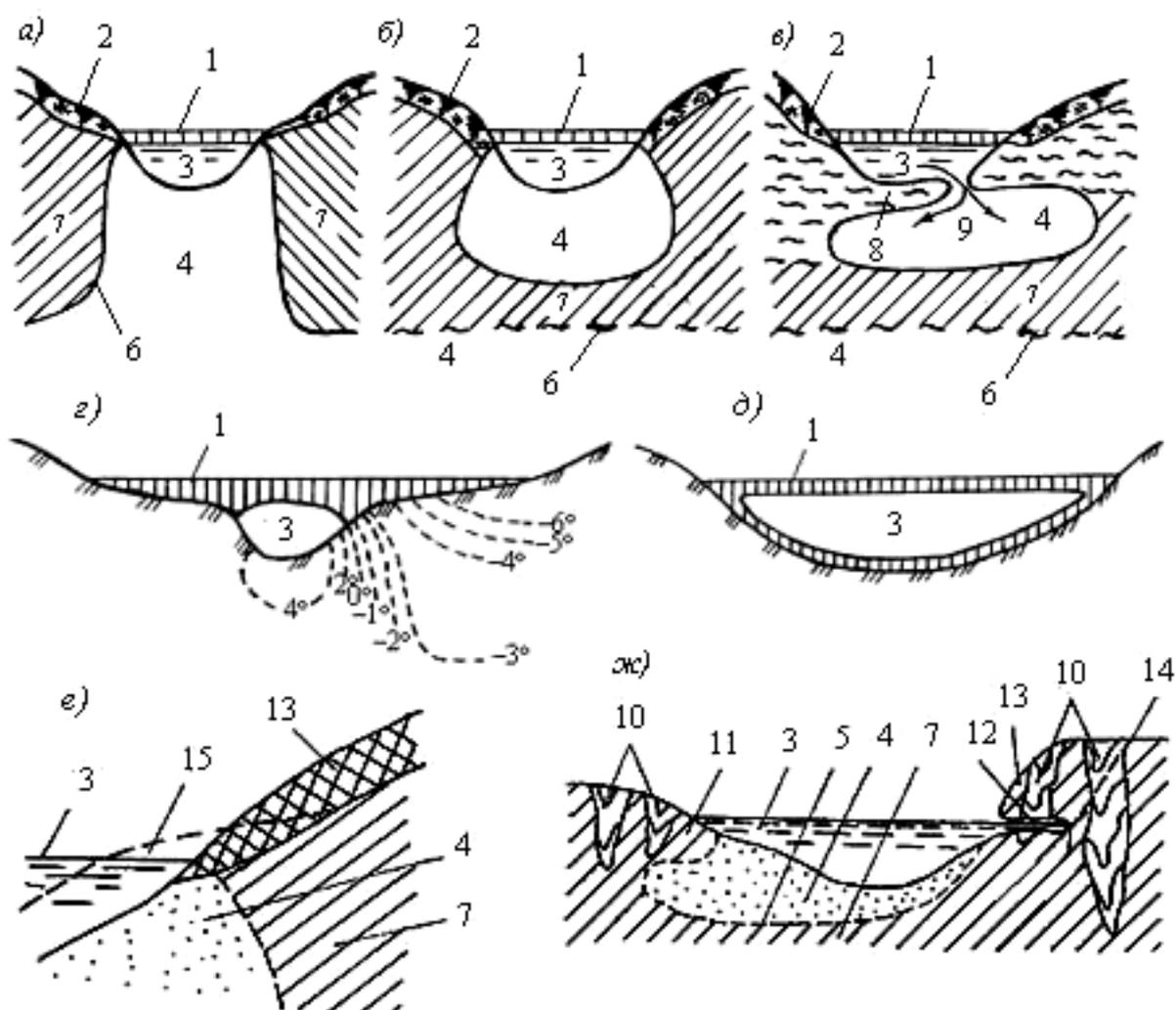


Рис. 1. Мерзлотно-гидрологические условия водоисточников

a – сквозной талик под большой рекой; *б* – несквозной талик (псевдоталик); *в* – межмерзлотный талик; *г* – температурное поле таликов под реками; *д* – водохранилище в первые годы создания; *е* – солифлюкция берегов; *ж* – термоэрозия берегов; 1 – лед; 2 – деятельный слой; 3 – водоисточник; 4 – талик; 5 – граница талика; 6 – граница мерзлоты; 7 – мерзлота; 8 – мерзлотный экран; 9 – каналы перетекания; 10 – линзы льда; 11 – растущий берег; 12 – термоэрозионная ниша; 13 – сползающий массив; 14 – обрушение берега; 15 – деградированный массив мерзлоты

Отепляющее влияние водоисточников на мерзлоту образует талые подрусовые и долинные водовмещающие зоны (талики) различной формы, мощности, водобильности, условий тепло- и водообмена с источниками. Динамика формирования размеров и водозапасов таликов очень сложна и изучена недостаточно; сложна их оценка. Возможные обобщения осложняются многообразием геоморфологии, мерзлотно-гидрологических процессов, условий формирования водовмещающих талых отложений под

реками и озерами. Малые и средние реки, ежегодно или с различной периодичностью перемерзающие на отдельных участках или на всем протяжении, – самый распространенный и наиболее вероятный источник водоснабжения (в 85 % случаев) на Севере России [3]. За десятилетия освоения Севера выработаны приемы и технические решения изъятия воды для водоснабжения из рек, не имеющих зимой достаточного объема поверхностного стока, либо не имеющих его совсем.

В разных районах Севера динамика взаимосвязи поверхностных вод с подрусловыми (и подземными, вообще) также специфична. Ледостав на малых и средних реках, особенно при их перемерзании, подледным потокам придает некоторый (до 1,5...2,0 м. в. ст.) напор, создавая особые условия зимнего режима водотоков, проявляющихся в: а) прорыве ледового покрова (чаще – на перекатах) с изливом воды на поверхность с образованием наледей [4]; б) обводнении подруслового аллювия отложений с расширением границ таликов и увеличением их водозапаса; в) разгрузке подледных потоков в глубинные водовмещающие зоны. Закономерности формирования таликов под водоисточниками в зоне мерзлоты пока не установлены в той мере, чтобы быть достаточно надежной инженерной основой и достоверной базой для обоснования технологий водоприема и режима эксплуатации водных ресурсов таликов [1, 5]. Минимальный (апрель-май) подрусловый расход следует принимать за расчетный; на этот же период должен определяться фактический дебит водозаборов и меры по его сохранению и увеличению.

Для практики важно, что параметры и режим (форма сопряжения с мерзлотой, водозапасы, условия взаимосвязи с поверхностными водами, условия разгрузки и др.) таликов существенно различны в разных природно-климатических зонах и бассейнах рек, даже в сравнительной близости друг от друга. Большой фактический материал по таликам в различных мерзлотно-гидрогеологических условиях и под разными водоисточниками

позволил авторам предложить для расчета параметров таликов формулы, исходя из расчетной схемы (рис. 2):

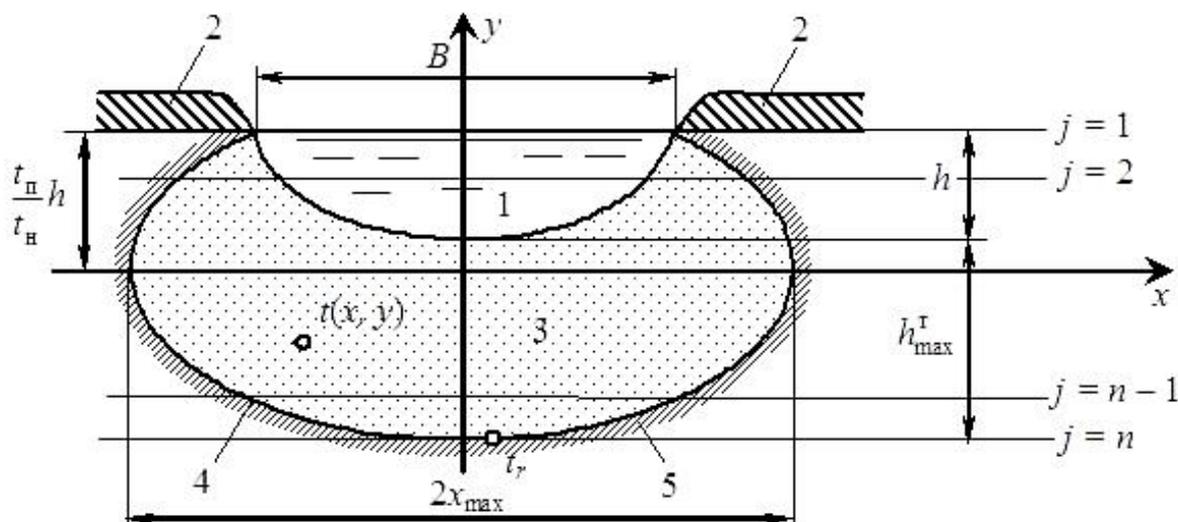


Рис. 2. Расчетная схема к определению параметров талика

1 – водоток; 2 – сезонный деятельный слой; 3 – талик; 4 – граница «талик – мерзлота»; 5 – мерзлота

$$x = \frac{\pi B t_i}{2 \lambda_i \left(\frac{t_i}{\lambda_i} - \frac{t_i}{\lambda_0} \right)}, \quad (1)$$

где x – расстояние от оси водотока до нулевой изотермы по круговой поверхности радиусом $\frac{B}{2}$ м; B – ширина водотока, м; t_n – среднегодовая температура грунтов на дне, °С; t_i – среднегодовая температура грунта у поверхности земли под снежным или растительным покровом, °С; λ_i, λ_0 – коэффициенты теплопроводности мерзлого и талого грунта, Вт/(м·°С).

Результаты расчета по этой формуле близки фактическим для источников шириной 50...80 м в межень. Для определения границ протаивания грунтов под крупными реками и водоемами авторами предлагается формула [7]:

$$t(x; y) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_i} t_i - t_r \right) \left(\arctg \frac{\frac{B}{2} - x}{y} + \arctg \frac{\frac{B}{2} + x}{y} \right) + t_r + G_y, \quad (2)$$

где $t(x; y)$ – температура любой точки с координатами x и y , м; причем y – координата глубины; t_r – температура мерзлоты у подошвы слоя с го-

довыми амплитудами, °С; G_y – геотермический градиент в конкретном районе.

Максимальную протяженность границ протаивания в бортах поймы авторы рекомендуют определять по формуле:

$$x_{\max} = \frac{\pi B t_i}{2\lambda_i \left(\frac{t_i}{\lambda_i} - \frac{t_i}{\lambda_\delta} \right)}, \quad (\text{м}). \quad (3)$$

Температура грунта в талике в любой точке с координатами x , y определяется по формуле:

$$t(x; y) = \frac{1}{\pi} (t_i - t_r) \left(\arctg \frac{0,5\hat{A} - x}{y} + \arctg \frac{0,5\hat{A} + x}{y} \right). \quad (4)$$

В предположении симметричности талика в оба борта долины форма его очертания, очевидно, определится выражением:

$$x = f(y). \quad (5)$$

При $0 \leq y \leq \frac{t_i}{t_i} h$

$$|x| = x_{\max} \left[1 - \frac{y}{\left(\frac{t_i}{t_i} \right) h} \right]^n + \frac{B}{2} \frac{y}{\left(\frac{t_i}{t_i} \right) h}, \quad (6)$$

где $n = 0,5 \dots 0,6$ – показатель степени.

При $\left[h_{\max}^\delta - \left(\frac{t_i}{t_i} - 1 \right) h \right] \leq y \leq 0$

$$|x| = x_{\max} \left[1 + \frac{y}{h_{\max}^\delta - \left(\frac{t_i}{t_i} - 1 \right) h} \right]^m, \quad (7)$$

где $m = 0,6 \dots 0,65$ – показатель степени; h_{\max}^T – максимальная глубина протаивания под подошвой источника, определяемая формулой (3) при условии:

$$h_{\max}^T = y; \quad t(x, y) = t_r; \quad x = 0. \quad (8)$$

Приведенная методика расчета по формулам (1)...(8) дает высокую степень сходимости с фактическими гидротермическими исследованиями авторов и ГПИ «Якутзолотопроект» под р. Лена в г. Якутск, под р. Яна (п. Северный), р. Нера (п. Артык) и др. [1, 7, 8]. Отметим, что кажущаяся простота, надежность и радикальность решения задач водоснабжения из перемерзающих рек на Севере за счет создания приплотинных водохранилищ не всегда удачна. Традиционные плотины для многолетнего регулирования стока на Севере из-за дороговизны строительства, сложности обеспечения их устойчивости, разрушения водосбросов и ряда других факторов инженерного, экономического, экологического, хозяйственного плана сдерживает возможность организации водоснабжения многочисленных объектов. Хотя водохранилища для многолетнего регулирования стока неизбежны для водоснабжения из рек, перемерзающих ежегодно к концу зимы вместе с подстилающим аллювием [8].

Проектирование должно осуществляться с учетом опыта специалистов и знания специфических условий работы сооружений [3, 7].

На Севере есть удачные решения забора воды из малых рек в зоне мерзлоты; успешно эксплуатируются водозаборы, построенные 80...100 и более лет назад. При этом надежность водоснабжения обеспечивается достаточно простыми и доступными по технико-экономическим соображениям приемами регулирования стока и теплового режима таликов. [8]. Наиболее уникальный опыт проектирования водозаборов из перемерзающих рек имеют Дальстройпроект (г. Магадан), Якутзолотопроект (г. Якутск), ЯкутНИПроалмаз (г. Мирный) и др., практически реализовавшие основы мерзлотно-гидрогеологического обоснования забора воды из перемерзающих рек [1,5]. В этих решениях предусматривается отбор совместного межженного стока подрусловых и поверхностных вод с обеспечением сезон-

ной аккумуляции стока на основе использования особенностей сурового климата. Общим для всех решений является возможность приема воды летом из поверхностных источников, зимой – из подрусловых и поверхностных (с обеспечением защиты их от полного перемерзания).

Наиболее целесообразны и распространены конструкции водоприемников из перемерзающих рек, в том числе и на наледоопасных участках, в виде подрусловых фильтрующих (инфильтрационно-фильтрующих) водозаборов, минимально влияющих на гидрологический и гидрогеологический режим водотоков, обеспечивающие в значительной степени очистку воды и удовлетворяющие требованиям рыбозащиты. Наши многолетний опыт (1960...2000г.г.) и исследования убеждают в реальности и целесообразности водоснабжения из малых рек, в том числе, за счет применения разработанных нами конструкций водозаборных сооружений и соответствующих комплексных мероприятий по регулированию поверхностного и подруслового стока в зимний (бессточный) период. Надежность водоотбора обеспечивается обводнением акваторий водозаборов, созданием сезонных, действующих лишь зимой, ледовых (ледогрунтовых) плотин. При этом обводняются подрусловые отложения, предотвращается образование наледей, улучшается тепловой режим водозаборов. Приемы и технические решения забора воды из перемерзающих рек разнообразны [1, 5, 8]. В каждом конкретном случае должны решаться вопросы регулирования стока поверхностных и подрусловых вод, защиты водоисточников, водосборных и водоотводных устройств от перемерзания (рис. 3).

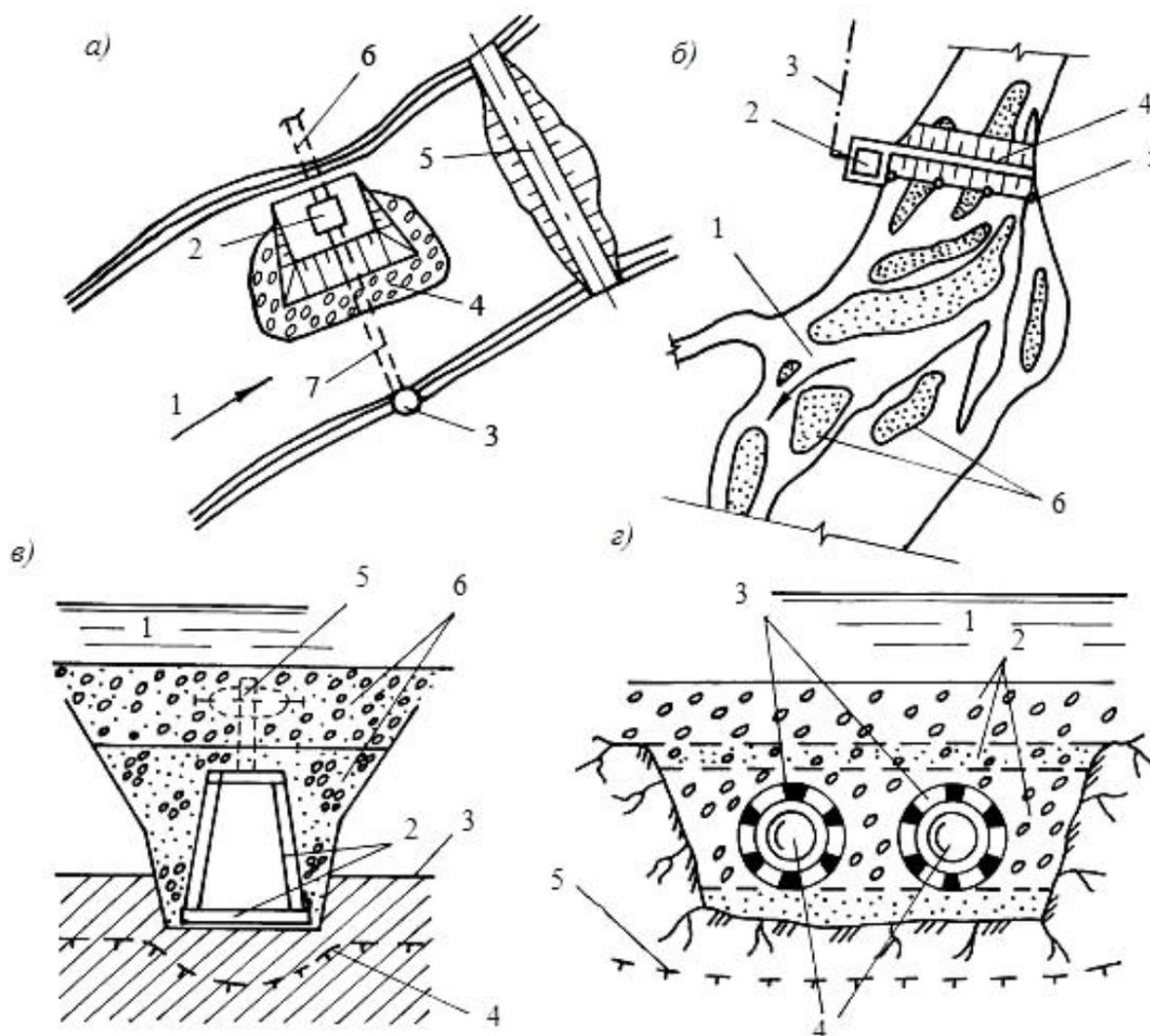


Рис. 3. Инфильтрационно-фильтрующие водоприемники из перемерзающих рек с регулированием подрусловых вод

а – сезонно действующей плотиной: 1 – река; 2 – водоприемный колодец; 3 – Контрольный колодец; 4 – фильтр; 5 – сезонно действующая плотина; 6 – самотечно-всасывающие трубы; 7 – дрена; *б* – глухой плотиной: 1 – река; 2 – водозабор-насосная; 3 – водоводы; 4 – глухая плотина; 5 – водосборная дрена; 6 – острова; *в* – галерея: 1 – источник; 2 – деревянные элементы галереи; 3 – грунт; 4 – граница мерзлоты; 5 – экран; 6 – фильтр; *г* – фильтрующая траншея: 1 – источник; 2 – фильтр; 3 – дрены; 4 – паропровод; 5 – граница мерзлоты

Сложности осуществления инженерных мероприятий по регулированию стока на бессточный период, отсутствие специализированных строительных организаций, уязвимость вечной мерзлоты и др. ориентируют на поиски решений, позволяющих использовать водоисточники в естественном режиме с исключением, по возможности, воздействий на мерзлоту русла и берегов. Выбирая конструкции и режим эксплуатации водоза-

боров, важно обеспечить всемерное улучшение качества отбираемой воды, что позволяет отказаться от завоза реагентов и исключить очистные сооружения из систем водоснабжения. Повышение надежности систем водоснабжения в зоне мерзлоты сводится к поддержанию незамерзаемости водоисточника и всех элементов водозаборного узла. Созданные технологические средства получения больших масс (до 15-20 тыс. м³/сутки) искусственного льда с различными свойствами позволяют обеспечить утепление практически любых площадей акваторий водозаборов, создать запасы льда, используемого при надобности для водоснабжения, возводить ледовые (льдогрунтовые) плотины для сезонного аккумуляирования стока [6, 8].

Возможности водоснабжения из перемерзающих рек значительно расширяются в связи с возросшими техническими достижениями регулирования режима водоисточников (гидромеханизация, мощные льдонамораживающие агрегаты, замораживающие установки различных типов, резиноканевые наполняемые плотины и др.). При необходимости запас воды может увеличиваться намораживанием льда в октябре-ноябре по всей площади акватории водозаборов слоем до 3...7 м. [6, 8]. Поскольку на малых перемерзающих реках лед, как правило, стаивает на месте и ледохода, как такового, не происходит, возможно широкое использование облегченных подпорных сооружений для аккумуляции меженного стока (ледовые плотины с полимерными экранами, фильтрующие летом плотины, превращаемые осенью промораживанием в нефилтрующие и др.).

Грамотное решение забора воды из перемерзающих рек – реальная и выгодная альтернатива сложившимся дорогостоящим и трудоемким приемам водообеспечения методами традиционной гидротехники. В ряде случаев необходимо выполнять опытно-экспериментальные натурные работы для всесторонней оценки факторов, определяющих условия водоснабжения различных объектов из перемерзающих рек.

Литература

1. Вдовин Ю.И. Водоснабжение на Севере. – Л.: Стройиздат, 1987. 180 с.
2. Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. – Владивосток, 1927. С. 63.
3. Аржакова С.К. Минимальный сток рек криолитозоны России. – Санкт-Петербург: - Изд. РГГМУ, 2001. 208 с.
4. Алексеев В.Р. Наледи. – Новосибирск: Наука, 1987. 242 с.
5. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР. Магадан, 1960. 471 с.
6. Файко Л.И. Использование льда и ледовых явлений в народном хозяйстве. – Красноярск: Изд. Красноярского ГУ, 1986. 158 с.
7. Журба М.Г., Вдовин Ю.И., Говорова Ж.М. и др. Водозаборно-очистные сооружения и устройства – М.: Астрель, 2004. 572 с.
8. Вдовин Ю.И., Вишневская Н.С. Водозаборно-очистные сооружения в системах водоснабжения в криолитозоне России. – М.: Изд. РУДН, 2007. 236 с.