



ОБОСНОВАНИЕ ДРЕНАЖА И ПРОГНОЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА В ЯКУТИИ

PROGNOSTICATION OF THE THERMAL REGIME AND JUSTIFICATION OF THE DRAINAGE OF AN ORE-DRESSING AND PROCESSING ENTERPRISE TERRITORY IN YAKUTIA

ПАШКОВСКИЙ И.С.

Главный геолог-эколог ЗАО «Геолинк Консалтинг»,

г. Москва

ПОТАПОВА Е.Ю.

Старший научный сотрудник кафедры гидрогеологии МГУ им. М.В.

Ломоносова, г. Москва, epotapova@geolink-group.com

PASHKOVSKY I.S.

The chief geologist-ecologist of the «Geolink Consulting» close

corporation, Moscow

POTAPOVA E.U.

A senior staff scientist of the hydrogeology department of Lomonosov

Moscow State University, Moscow, epotapova@geolink-group.com

Ключевые слова:

моделирование; дренаж; дренажная система; прогноз; обоснование; температура; тепловой режим; водный режим; грунт; горно-обогатительный комбинат; Якутия.

Key words:

modeling; drainage; drainage system; prognosis; justification; temperature; thermal regime; water regime; ground; ore-dressing and processing enterprise; Yakutia.

Аннотация

В статье рассматривается обоснование дренажных систем на участке проектируемого строительства горно-обогатительного комбината на территории Эльгинского угольного месторождения (Якутия). Значительная часть работы посвящена изучению процессов промерзания/оттаивания мерзлых грунтов под зданиями и сооружениями. При ее выполнении широко использовались методы геокриологического и гидродинамического моделирования.

Введение

Основная цель настоящей работы состояла в обосновании вариантов (типов и конструкций) дренажа зданий и сооружений проектируемого горно-обогатительного комбината (ГОК) на территории Эльгинского угольного месторождения (Якутия).

В рамках указанной цели авторами решались также частные задачи: оценка оттаивания мерзлых грунтов под зданиями и сооружениями (ЗИС) при заданной температуре в их подвальных помещениях; прогноз температурного режима территории строительства с применением расчетов поля температур вблизи ЗИС; оценка сезонного промерзания/оттаивания грунта вне зоны влияния ЗИС; обоснование вариантов (типов и конструкций) систематического дренажа территории вне зоны влияния ЗИС; прогноз стока дренажных систем; оценка изменения водного режима территории.

Материалами для данной работы послужили результаты инженерно-геологических изысканий, в т.ч. характеристика температурного режима мерзлых пород и деятельного слоя и генеральный план проектируемого ГОК (с посадкой всех ЗИС, а также дождевой канализации). Кроме того, был использован перечень всех зданий и сооружений с характеристикой их фундаментов и подвальных помещений (типов фундаментов, размеров их элементов, материалов для их строительства, температуры в подвальных помещениях и др.) и проекты железной и автомобильных дорог.

Природные условия исследуемой территории

Территория, на которой планируется строительство горно-обогатительного комбината, располо-

Abstract

The article deals with justification of the drainage systems in the projected construction area of an ore-dressing and processing enterprise in the territory of the Elga Coal Deposit (Yakutia). A considerable part of the paper is devoted to investigation of the freezing-thawing processes in the frozen soils under the buildings and constructions. To carry out this work some methods of geocryological and hydrodynamic modeling were widely used.

жена в пределах Эльгинского угольного месторождения в юго-восточной части Республики Саха (Якутия), на водораздельном пространстве реки Укиkit и ее притока. На востоке она граничит с Хабаровским краем (в 15 км от ГОК), на юге — с Амурской областью (в 70 км от ГОК).

Климат данного района суровый, резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха составляет минус 11,4°C. Среднее количество осадков за период наблюдения с 2003 по 2007 г. было 486 мм/год.

Речная сеть рассматриваемой территории принадлежит к бассейну реки Алдан.

Геологические, гидрогеологические и геокриологические условия

В геологическом строении исследуемой территории принимают участие отложения мезозойского угленосного комплекса, которые перекрываются чехлом рыхлых и ледниковых отложений четвертичного возраста (рис. 1).

Район Эльгинского месторождения в геокриологическом отношении находится в зоне развития вечномёрзлых пород. По характеру распространения многолетняя мерзлота здесь имеет практически сплошное развитие, прерываясь в местах развития инфильтрационных таликов в зонах повышенной трещиноватости.

По условиям формирования, циркуляции, питания и разгрузки на площади месторождения выделяются надмерзлотные воды в четвертичных отложениях и подмерзлотные воды трещинного типа.

Типовые схемы строения толщи в основаниях фундаментов

Сложность расчета теплового режима под проектируемыми зданиями и сооружениями определяется тем, что предполагается вертикальная планировка площадки строительства. На большей части территории четвертичные породы, представленные различными типами рыхлых образований, будут удалены и частично перемещены при формировании плоских террас на склоне. Соответственно после удаления этих грунтов обнажатся мезозойские породы, представленные песчаниками и алевролитами в мерзлом состоянии. Перемещенные четвертичные породы будут представлять смесь гравийных, галечниковых и дресвяных (щебнистых) грунтов с супесчаным заполнителем.

Анализ позволил выделить три основных типа грунтов, которые будут залегать на поверхности после вертикальной планировки территории: (1) прочные и среднепрочные песчаники на глинисто-известковом цементе; (2) низко- и малопрочные песчаники (рухляк); (3) перемещенные четвертичные породы различной мощности. Схематическое строение толщи представлено на рис. 1.

Авторами было проведено мерзлотно-гидрогеологическое моделирование. С помощью полученных моделей теплопереноса решались задачи промерзания/оттаивания под проектируемыми объектами строительства, в зоне предполагаемого дренажа и на различных морфологических элементах площадки застройки. В последующем не-

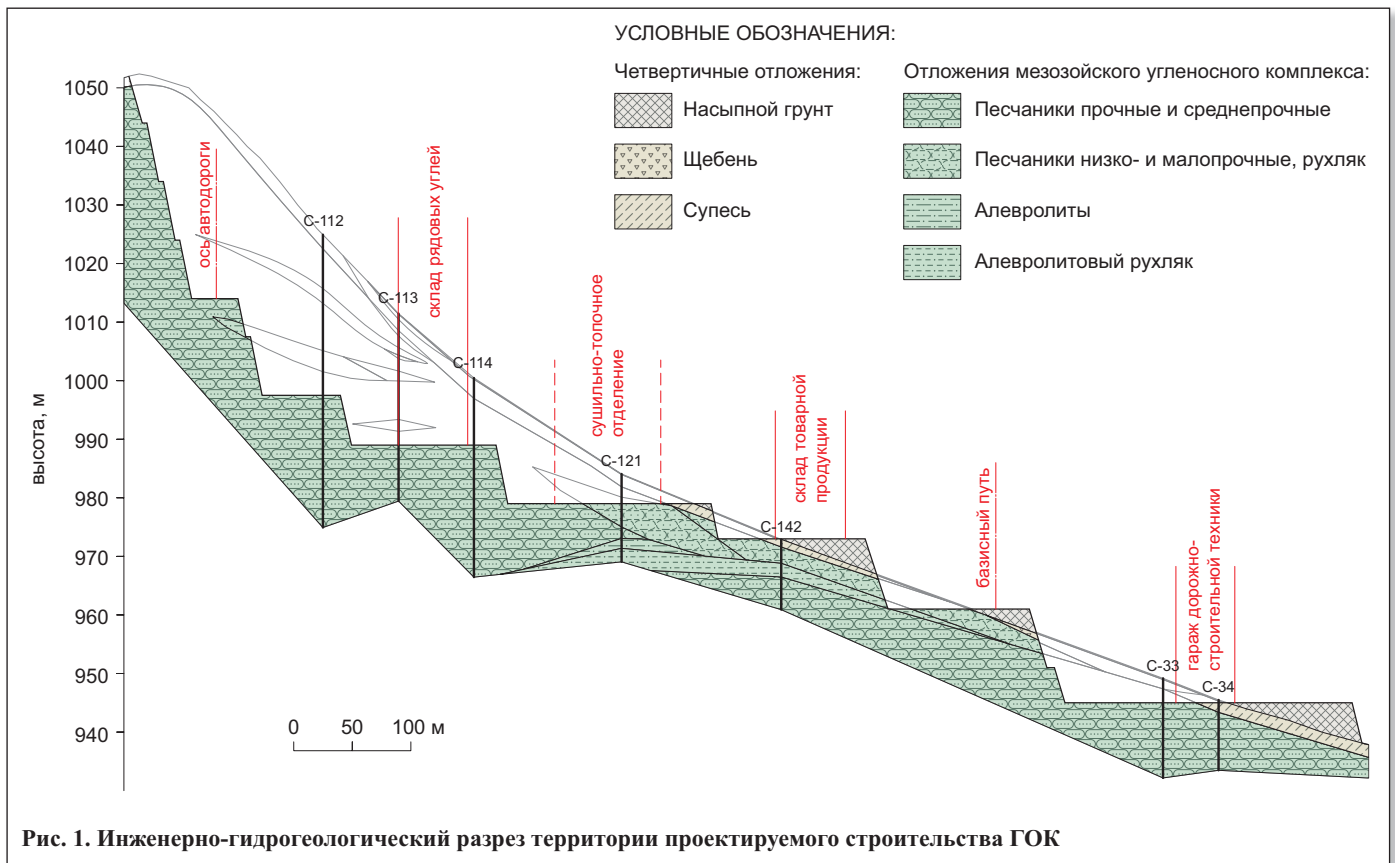


Рис. 1. Инженерно-гидрогеологический разрез территории проектируемого строительства ГОК

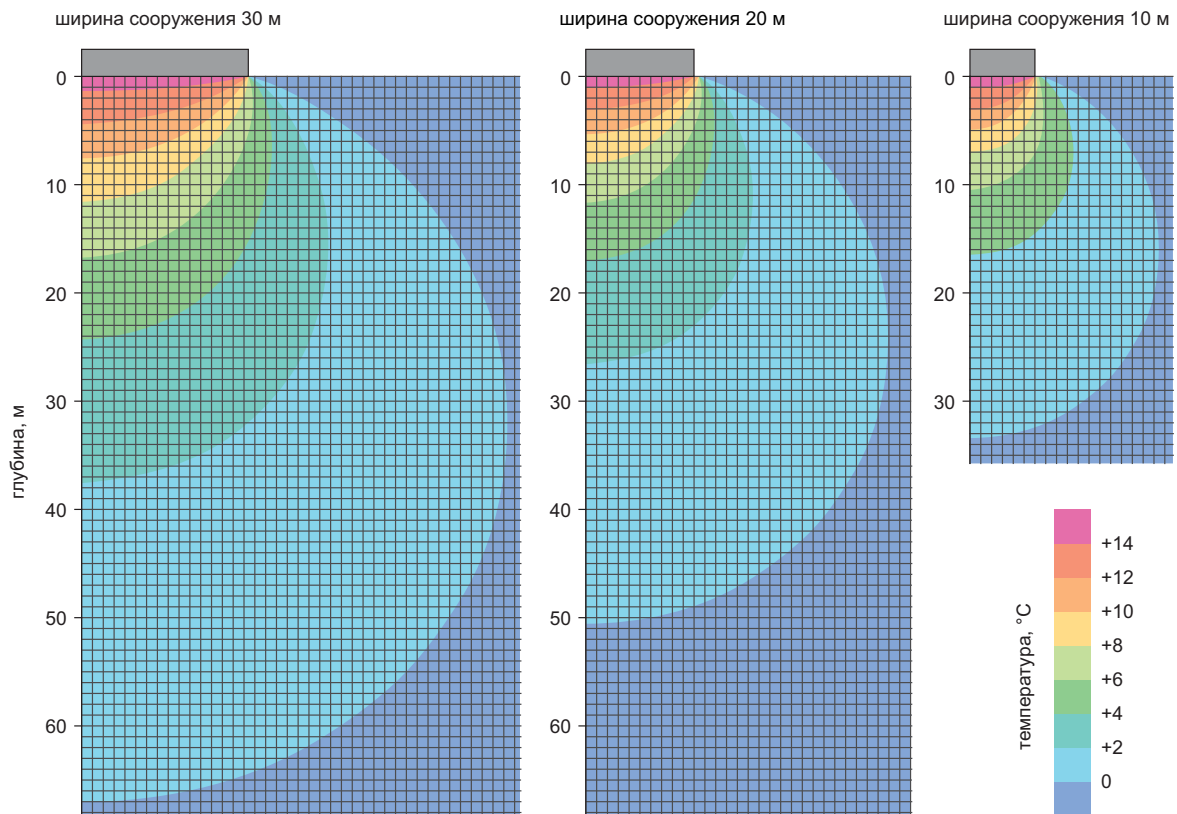


Рис. 2. Распределение температур под сооружениями различной ширины. Сооружения показаны прямоугольниками. Линиями, разделяющими зоны разного цвета, показаны изотермы. Цифры внутри квадратов — температура (°С)

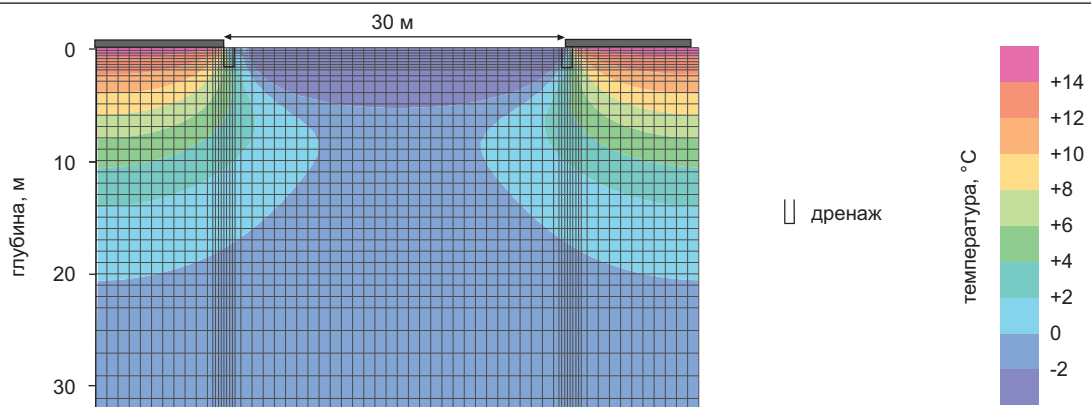


Рис. 3. Фрагмент модельной картограммы распределения температур под сооружением в зоне дренажа на декабрь 3-го года после строительства сооружения

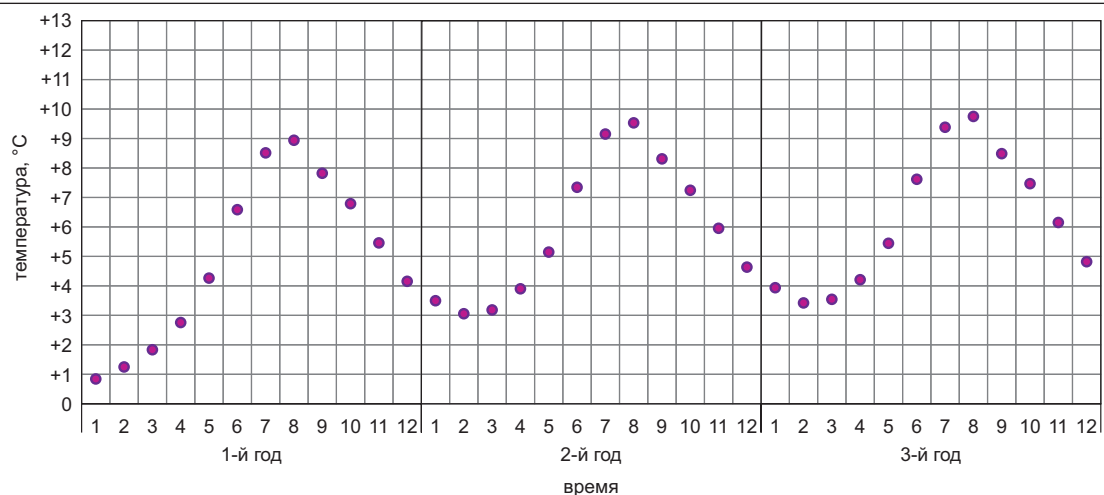


Рис. 4. Графики сезонного хода температур в пределах дрены А при температуре внутри сооружения +15°С



Рис. 5. График сезонного хода температур в пределах дрены (блока 17/8) при температуре внутри сооружения +20°C

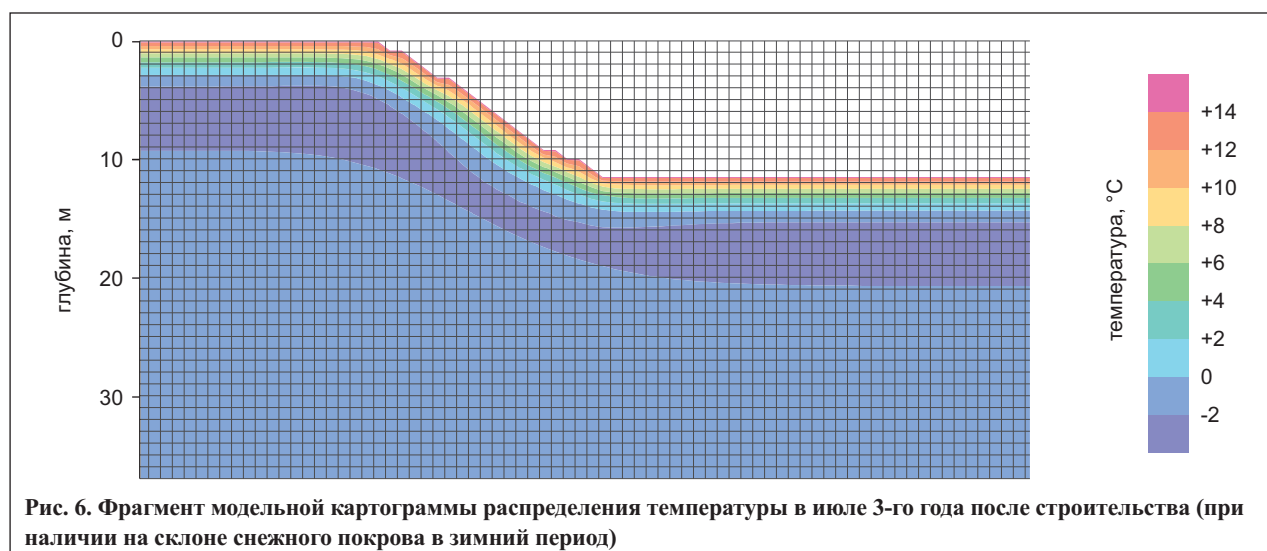


Рис. 6. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в июле 3-го года после строительства (при наличии на склоне снежного покрова в зимний период)

которые мерзлотные модели были использованы для решения гидрогеологических задач для оценки степени эффективности проектного дренажа.

В основу моделирования теплового поля вблизи зданий и сооружений было положено уравнение теплопереноса:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z}) = C \frac{\partial T}{\partial t} + L \frac{\partial \theta_f}{\partial t},$$

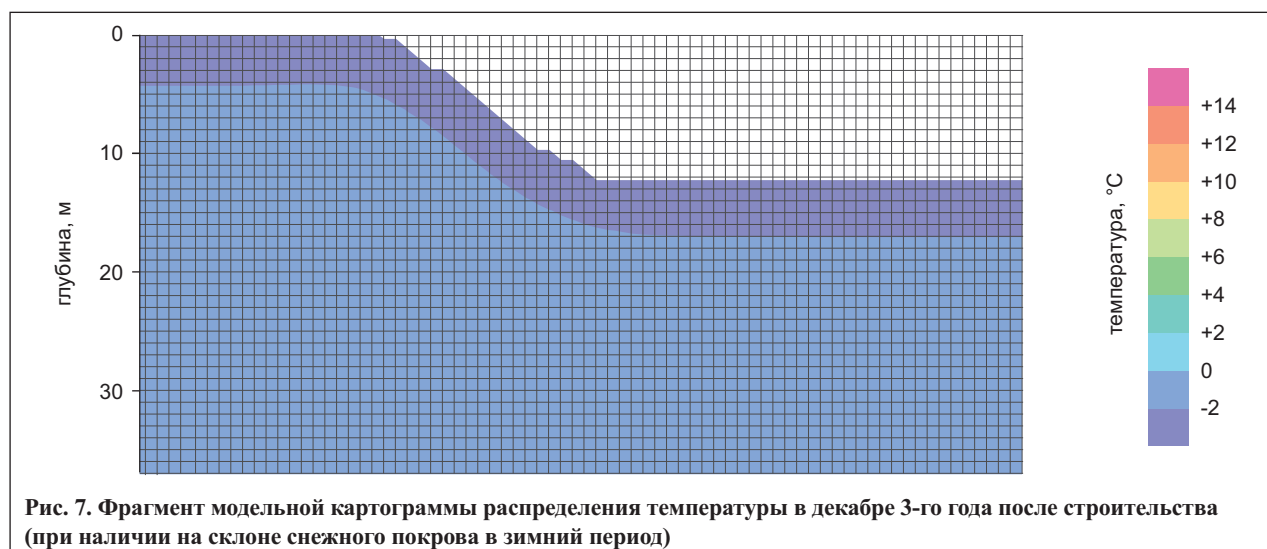


Рис. 7. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в декабре 3-го года после строительства (при наличии на склоне снежного покрова в зимний период)

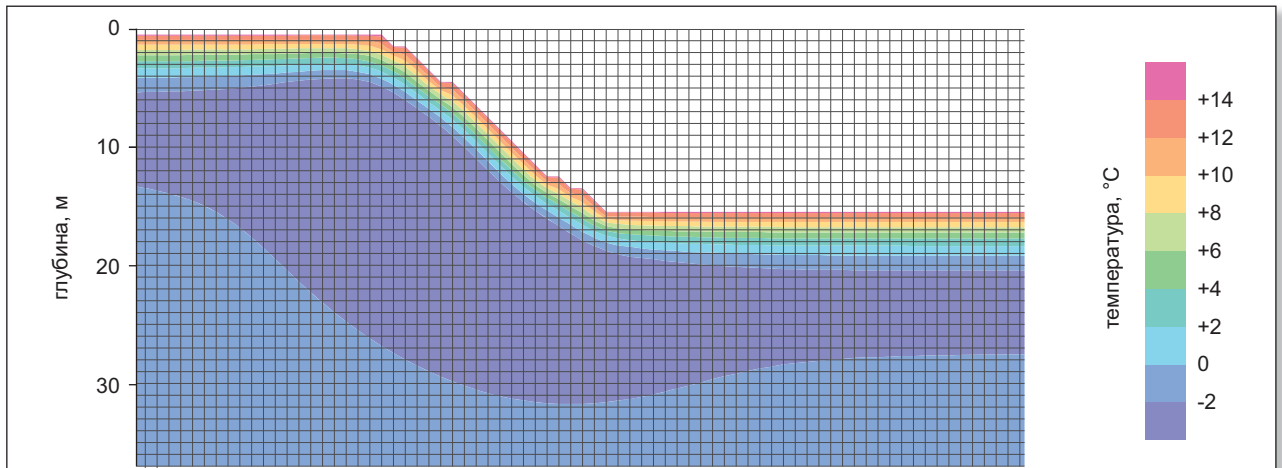


Рис. 8. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в июле 3-го года после строительства (при расчистке снега в зимний период)

где T — температура, $^{\circ}\text{C}$; $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ — коэффициенты теплопроводности ($\text{ккал}/\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$) в направлениях x, y, z (м) соответственно; C — теплоемкость грунта, $\text{ккал}/\text{м}^3 \cdot \text{град}$; — скрытая объемная теплота фазового перехода (ккал), θ_f — количество замерзшей влаги, или льдистость (д.е.); t — время (сут).

Схематизация и границы мерзлотных моделей

Расчет предельной глубины оттаивания под сооружениями производился по профильной модели с использованием программы ModTech путем решения стационарной задачи.

Диапазон размеров проектируемых сооружений достаточно широк — от 3 до 80 м. Модель по оси X состояла из 500 блоков. Размер блока для удобства расчетов был принят равным 1 м. Размер модели по глубине был принят равным 250 блокам. Это позволило исключить влияние на результаты решения условия 1-го рода на нижней границе даже в случае моделирования варианта оттаивания под самым широким сооружением. Всего расчетных элементов было 125 000.

Были заданы следующие граничные условия: (1) на верхней и нижней границах — условие пер-

вого рода ($t = \text{const}$); (2) на боковых границах — условие второго рода (непроницаемая граница).

Результаты модельного прогноза оттаивания под сооружениями разной ширины представлены на рис. 2. На рисунке 3 показаны результаты моделирования и пристенный дренаж, в пределах которого температура будет положительной.

Прогноз промерзания/оттаивания в зоне дренажа

Для оценки промерзания непосредственно под сооружением и в пределах проектного дренажа по контуру здания была разработана профильная модель с неравномерной сеточной аппроксимацией.

Помесячные графики хода температуры T за три года эксплуатации сооружений для варианта 1 (при T внутри сооружения $+15^{\circ}\text{C}$) и для варианта 2 (при T внутри сооружения $+20^{\circ}\text{C}$) дают возможность наглядно оценить T в пределах дрены по сезонам (рис. 4, 5).

Проведенная оценка показала, что зоны дренажа будут находиться в талом состоянии в течение всего периода эксплуатации. Температура пород в зоне дрены по данным моделирования составит от плюс 4 до плюс 6°C .

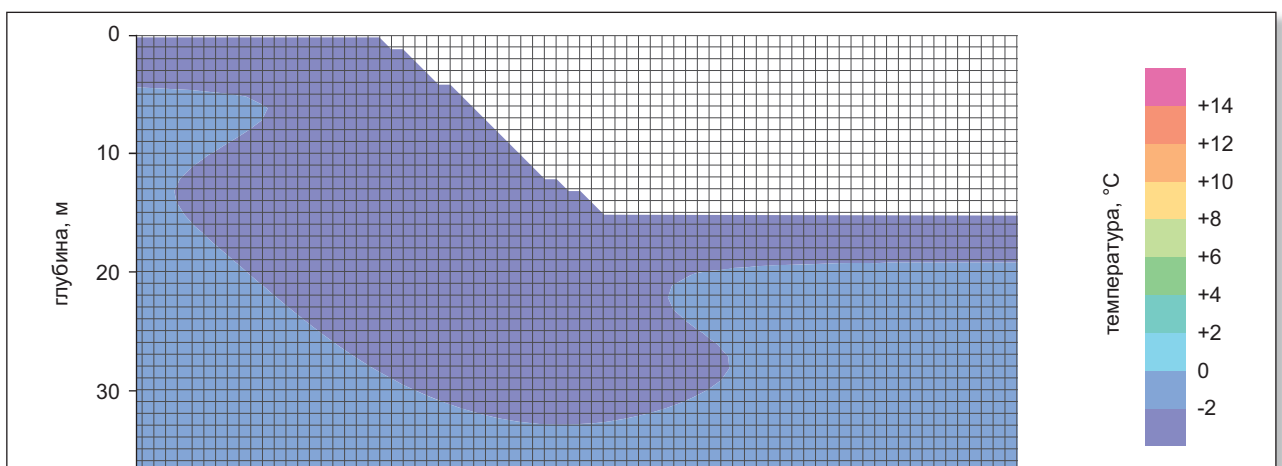
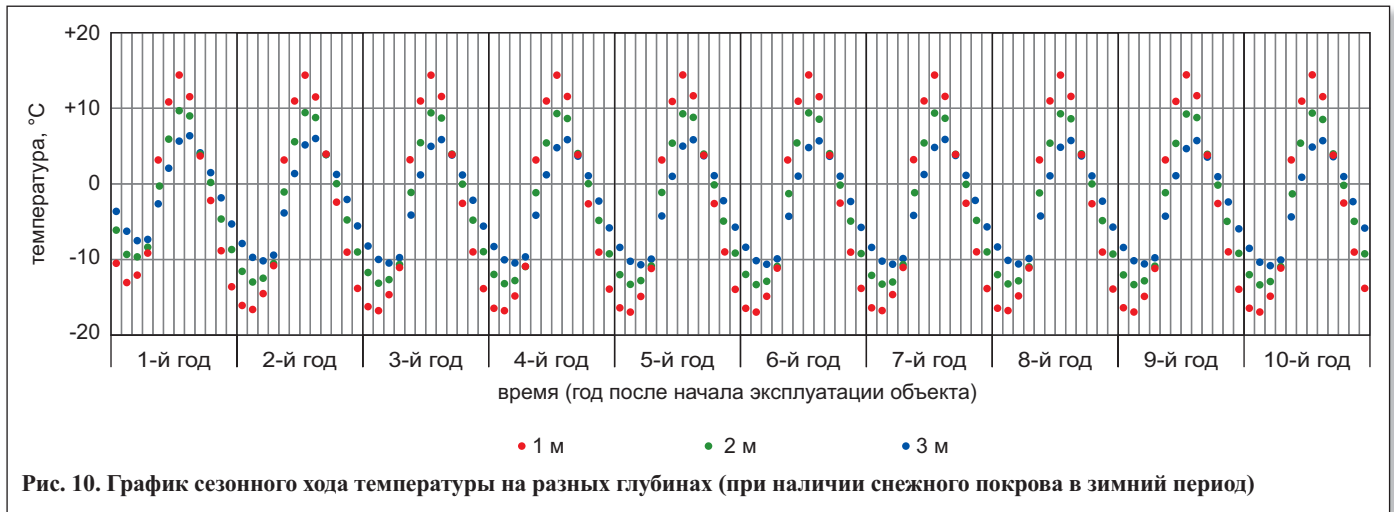


Рис. 9. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в декабре 3-го года после строительства (при расчистке снега в зимний период)



Моделирование промерзания/оттаивания вне зоны сооружений

В пределах территории строительства ГОК предполагается перепланировка современного рельефа, в результате которой отдельные части территории будут выравниваться, а другие будут представлять собой довольно крутые склоны (с уклоном до 45°). В основаниях склонов предполагается устройство линейных дренажей. Важным является вопрос о тепловом состоянии склона в годовом и многолетнем отношении, т.к. от этого в существенной мере будет зависеть собственная пропускная способность и работа дренажной системы.

Результаты моделирования промерзания и оттаивания в пределах склонов показаны на рис. 6, 7 (при наличии снежного покрова в зимний период) и 8, 9 (при расчистке снега в зимний период).

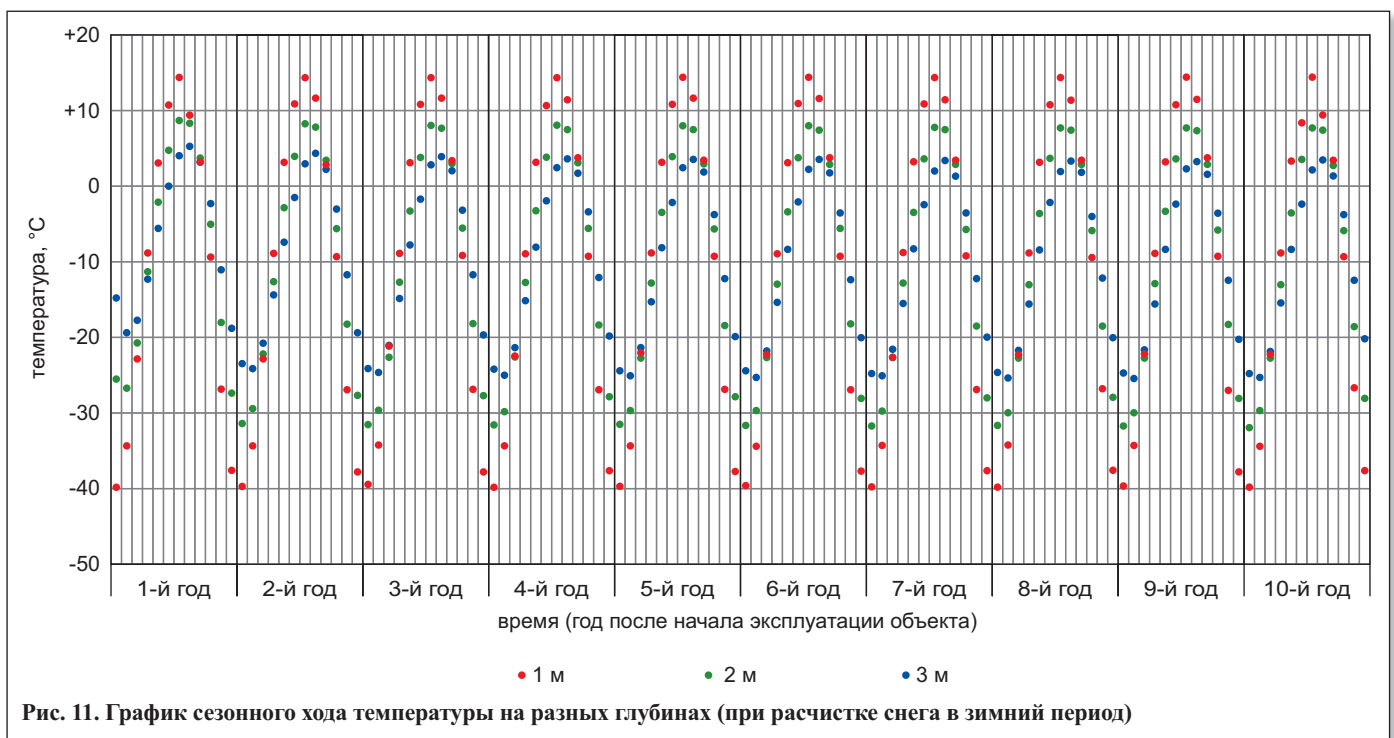
Для оценки сезонного промерзания/оттаивания вне зоны проектных сооружений, а также измене-

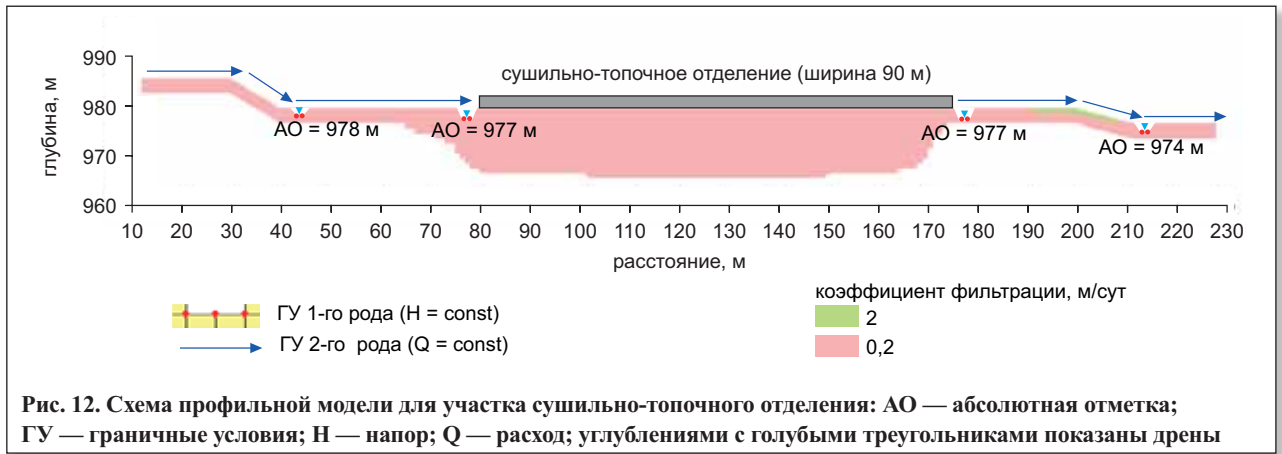
ния температуры на различных глубинах было выполнено моделирование прогнозной тепловой задачи на 10 лет после начала эксплуатации объектов (рис. 10, 11). Оно также выполнялось для двух вариантов — при наличии и при отсутствии снежного покрова в зимний период.

Распределение модельной температуры показывает, что в летний период склоны будут находиться в талом состоянии как при наличии снежного покрова в зимние месяцы, так и в случае, когда снег зимой либо счищается, либо сдувается.

Обоснование дренажных мероприятий

Для предотвращения подтопления территории целесообразно рассматривать два типа дренажа: (1) пристенный, устраиваемый по контуру зданий и сооружений для предотвращения подтопления их фундаментов; (2) линейный, устраиваемый вдоль дорог, железнодорожного полотна, у оснований склонов.





Для оценки эффективности пристенного дренажа, а также прогноза положения депрессионной поверхности надмерзлотного водоносного горизонта под зданиями была разработана профильная гидродинамическая модель для части разреза.

Например, рассмотрим результаты такой оценки для площадки, где будет расположено *сушильно-топочное отделение* шириной 90 м.

Ширина площадки — 170 м, абсолютная отметка — 977 м. Ниже и выше нее будут находиться уступы. Высота верхнего уступа — 10 м, нижнего — 4 м. На глубине 2 и 1 м предполагается заложение дренажей: (1) в основании верхнего уступа на глубине 1 м; (2) с западной стороны здания на глубине 2 м (пристенный дренаж); (3) в основании нижнего уступа на глубине 1 м.

При моделировании в вышеуказанных зонах задавалось гидродинамическое граничное условие 1-го рода. Инфильтрационное питание было задано по всему профилю, за исключением зоны сооружения. Величина расхода питания была принята равной $0,0013 \text{ м}^3/\text{сут}$. Коэффициент фильтрации песчаников был принят равным $0,2 \text{ м/сут}$, насыпных грунтов в верхней части уступа — 2 м/сут .

Для учета протаивания под рассматриваемым зданием первоначально была решена нестационарная задача теплопереноса с условиями, аналогичными таковым в задачах, рассмотренных выше. Конфигурация талой зоны на июль 3-го года после строительства была принята в качестве области для решения гидродинамической задачи.

Гидродинамическое моделирование выполнялось в стационарной постановке. Для его проведе-

ния использовалась программа GEQ-SLOPE 2007 (Канада), в частности ее модуль SEEPW, предназначенный для решения профильных задач геофильтрации с различной сеточной дискретизацией, в т.ч. и неравномерной. Размеры всех сеточных блоков составляли $1 \times 1 \text{ м}$. Схема модели представлена на рис. 12, результаты моделирования — на рис. 13.

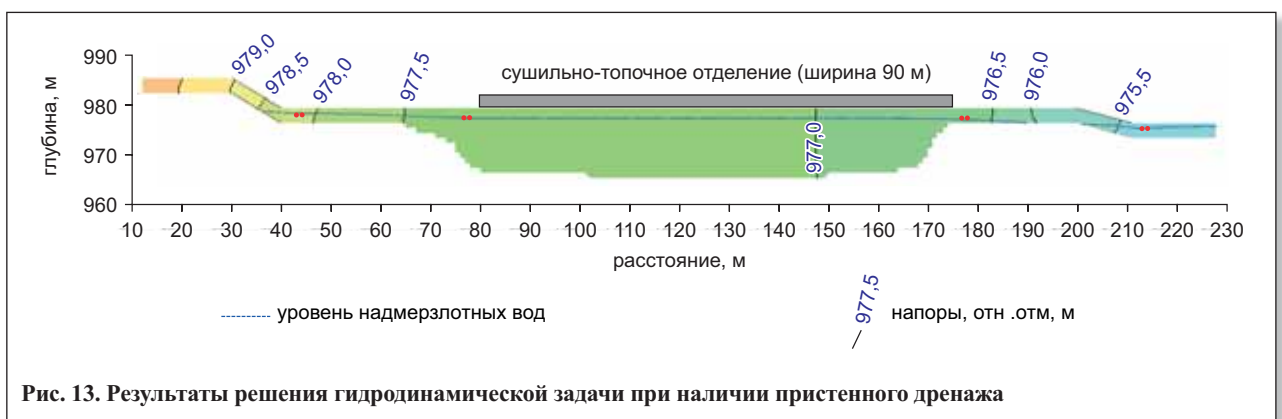
Гидродинамическое моделирование

Разработка геофильтрационной модели выполнялась в два этапа. На первом из них для модели в системе ГИС «Геолинк» были созданы фактографическая и картографическая базы.

В фактографическую базу были внесены атрибутивные данные по инженерно-геологическим скважинам, а именно: (1) их координаты; (2) абсолютные отметки (АО) их устьев; (3) АО подошв выделенных инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

В картографическую базу были внесены: (1) точки и изолинии существующего рельефа; (2) проектный рельеф по профилям; (3) контуры зданий и сооружений; (4) линейные объекты (автомобильные дороги и железнодорожные пути); (5) существующие реки и ручьи.

Для оценки эффективности дренажных мероприятий для всей территории была разработана геофильтрационная модель (рис. 14). В качестве ее границы с востока принималась линия водораздела, с севера и северо-востока — река Ундыткан. С юго-востока граница задавалась по обрезу карты на расстоянии 500 м от границы террито-



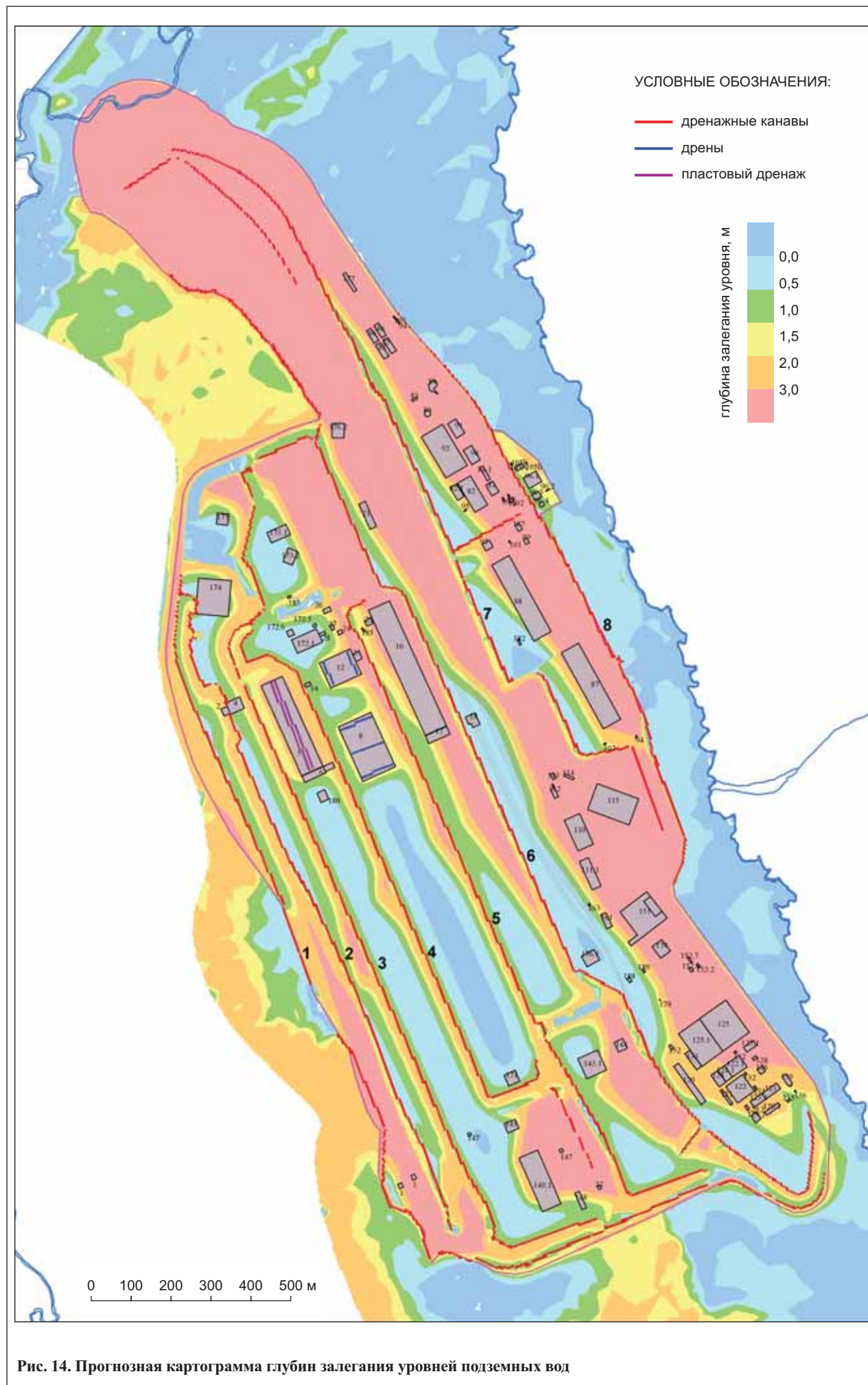


Рис. 14. Прогнозная картограмма глубин залегания уровней подземных вод

рии проектируемого строительства. Общая площадь модели — 5,4 км².

При моделировании рассматривался надмерзлотный водоносный горизонт, формирующийся при сезонном оттаивании верхней части разреза на глубину 3 м. Подошва этого горизонта — кровля вечномерзлых пород (на глубине оттаивания). На участках искусственной насыпи подошва задалась по кровле коренных пород.

Коэффициент фильтрации в пределах распространения на поверхности песчаников и алевролитов принимался равным 0,2 м/сут (как для пород, проницаемость которых определяется экзогенной трещиноватостью). Для участков с насыпными грунтами и с песчаником-рухляком на поверхности коэффициент фильтрации принимался равным 2 м/сут.

Моделирование проводилось применительно к летнему периоду (до сентября включительно), когда еще выпадают жидкие осадки, а с поверхности еще не началось промерзание. Глубина оттаивания в этот период в среднем составляет 3 м. Величина инфильтрационного питания принималась как разница между годовой суммой осадков 486,0 мм и величиной слоя годового стока 359,5 мм. Дополнительное питание, обусловленное утечками из водонесущих коммуникаций, для горно-обогатительных комбинатов составляет м/сут.

Моделирование выполнялось с использованием программных средств MODTECH, разработанных ЗАО «Геолинк Консалтинг».

Заключение и выводы

1. Предельное протаивание многолетнемерзлых пород под зданиями и сооружениями проектируемого горно-обогатительного комбината на территории Эльгинского угольного месторождения (Якутия) будет примерно равно их ширине и составит 20–50 м.

2. Отопляющее влияние зданий и сооружений на глубине заложения пристенного дренажа (2 м) проявится уже через 3 года после начала их эксплуатации. Температура обсыпки дренажа к концу зимнего периода составит плюс 4–5°C.

3. За пределами отопляющего влияния зданий и сооружений минимальная температура на глубинах 1, 2 и 3 м при наличии снежного покрова составит минус 18, минус 13 и минус 10°C, а при условии расчистки снега (голой поверхности) в зимний период — минус 40, минус 30 и минус 25°C соответственно.

4. С помощью разработанной геофильтрационной модели был выполнен прогноз гидрогеологических условий на изучаемой территории (данная модель позволяет с детальностью, соответствующей масштабу 1:500 и шагу сетки 5×5 м, рассматривать фильтрацию в безнапорном надмерзлотном водоносном горизонте).

5. Изменения водного баланса бассейнов рек, протекающих вблизи рассматриваемой территории, после строительства горно-обогатительного комбината не ожидается. Отведение дренажного стока составляет всего 0,2% от годового речного стока. ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерная геология СССР. Т. I. М.: Изд-во МГУ, 1978. С. 155.
2. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83*). М.: Стройиздат, 1986.
3. СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 2004.
4. СНиП 2.02.01-83*. Основания зданий и сооружений. М.: Госстрой СССР, 1987.
5. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: Госстрой СССР, 1990.
6. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территорий от затопления и подтопления. М.: Госстрой СССР, 1985.

Журнал «Инженерная геология»

стал одним из наиболее востребованных печатных изданий в нашем профессиональном сообществе. Сотрудники редакции постоянно работают над дальнейшим повышением качества журнала. Все статьи проходят рецензирование членами редакционной коллегии и внешними рецензентами, научное и литературное редактирование. Вы, читатели, можете внести свой вклад в развитие журнала, присылая в редакцию свои статьи, подписываясь на «Инженерную геологию».

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095
E-mail: geo@pniis.ru

Реклама