

УДК 627.824

Е. Н. ГОРОХОВ¹, д-р техн. наук, зав. кафедрой оснований, фундаментов и инженерной геологии; **Р. В. ЧЖАН²**, д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник-советник лаборатории инженерной геокриологии; **А. А. МАЛЕНОВ¹**, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; **С. Я. СКВОРЦОВ¹**, ст. преп. кафедры оснований, фундаментов и инженерной геологии; **А. А. ЧЖАН²**, канд. техн. наук, науч. сотрудник лаборатории инженерной геокриологии; **П. С. ЗАБОЛОТНИК²**, канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник лаборатории инженерной геокриологии

**ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ДАМБЫ
ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ В СЕВЕРНОЙ
СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ**

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно строительный университет»

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-94; эл. почта: nn-oif@yandex.ru

²ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН

Россия, 677010, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36. Тел.: (4112) 39-08-01; эл. почта: zhang@mpi.ysn.ru

Ключевые слова: дамба, талые и мерзлые грунты, фильтрационные расчеты, устойчивость откосов.

Изложены результаты расчетов температурного режима основания и тела дамбы инженерной защиты селитебной территории в северной строительной климатической зоне (ССКЗ), выполненных с целью выявления причин аварийного состояния сооружения.

Объект исследования представляет собой дамбу, предназначенную для обеспечения инженерной защиты от негативного воздействия паводковых вод селитебной территории, расположенной в северной строительной климатической зоне (ССКЗ), а также для формирования пруда-охладителя ТЭЦ и отделения его от русла реки (протоки).

Оградительная дамба: талого типа, отсыпана из привозного супесчаного и песчаного разнородного грунта различного генезиса; общая длина 1330 м, высота от 4,6 до 15,0 м, фактическая ширина по гребню в среднем 6,8 м; заложение откосов равно 2,5. Со стороны нижнего бьефа (пруд-охладитель) в основании дамбы отсыпана упорная призма из горного песка, камня и щебенки, шириной 7,0 м. Класс сооружения – II. Конструкция дамбы для сечения 3-3 и расположение сечения приведены на рис. 1 и рис. 1 цв. вклейки.



Принятые на основании исходных данных физико-механические характеристики грунта для расчетов температурного режима [1, 2] представлены в таблице.

Для построения начального температурного поля были приняты результаты непосредственного измерения (май 2021 г.) температуры грунта в скважине. В верхней зоне до 2 метров находятся мерзлые грунты с температурой до $-1,6$ °С, что соответствует слою сезонного промерзания, ниже находится талая толща с температурой грунта $+4,4$ °С, с глубины 27 м залегают многолетнемерзлые грунты с температурой $-0,3$ °С. Начальное температурное поле для сечения 3-3 приведено на рис. 2 цв. вклейки.

При расчете температурного режима [1, 2] выполнялся прогноз на различные периоды эксплуатации дамбы:

- 1) краткосрочный 2021–2023 г.;
- 2) среднесрочный 2030 г.;
- 3) долгосрочный 2050 г.

Прогноз температурного режима осуществлялся расчетом по программе *TRND* в плоской постановке.

При проведении расчетов для каждого сечения было сформировано 12 схем с различными уровнями воды по месяцам в верхнем и нижнем бьефах. Расчет выполнен с помесечным изменением уровней воды согласно исходным данным.

На конец 05.2021 г. сформировано начальное температурное поле. Далее расчетами по этой же программе, с учетом расчетных среднемесячных значений природно-климатических характеристик района, выполнен расчет температурного режима дамбы. Расчет выполнен на период до 2051 года для того, чтобы учесть все заданные периоды прогноза (краткосрочный 2021–2023 г., среднесрочный 2030 г., долгосрочный 2050 г.)

Результаты этих расчетов в виде температурного поля в расчетных сечениях дамбы приведены на рис. 5–8 цв. вклейки. На этом этапе расчетов учитывается установившаяся фильтрация воды. При этом кривая депрессии в теле дамбы, используемая программой *TRND* [3], была получена программой *PLAXIS* [4, 5].

В рассмотренных сечениях тело дамбы в течение прогнозируемого периода будет находиться в талом состоянии, за исключением слоя сезонно промерзающего грунта в верхней части, которое будет иметь температуру $-3,5...-2,5$ °С в конце зимних месяцев (рис. 3 цв. вклейки) и практически оттаивать (сохраняется небольшой участок с температурой $0,1$ °С) в конце летних месяцев (рис. 4 цв. вклейки) на 2022 год.

К 2030 году слой мерзлого грунта в верхней части дамбы будет увеличиваться и сохраняться к концу летних месяцев с температурой от $0,1$ °С до $-0,24$ °С. К 2050 году температура мерзлого слоя будет составлять от -6 °С до 4 °С в конце зимних месяцев (рис. 5 цв. вклейки) и от $-0,1$ до $-0,24$ °С в конце летних месяцев (рис. 6 цв. вклейки). Образование мерзлой зоны в верхней части дамбы с сохранением ее в конце летних месяцев обусловлено отрицательной среднегодовой температурой.

**К СТАТЬЕ Е. Н. ГОРОХОВА, Р. В. ЧЖАНА, А. А. МАЛЕНОВА,
С. Я. СКВОРЦОВА, А. А. ЧЖАНА, П. С. ЗАБОЛОТНИКА
«ПРОГНОЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ДАМБЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ В
СЕВЕРНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ»**

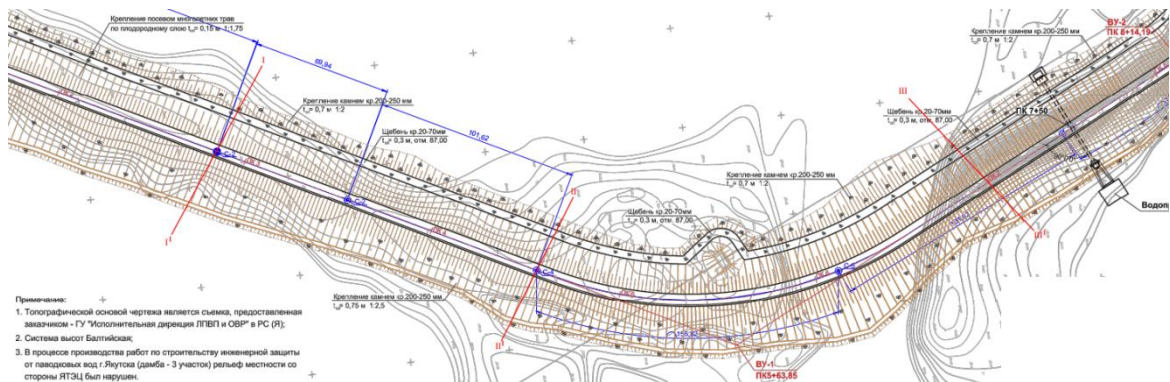


Рис. 1. План оградительной дамбы

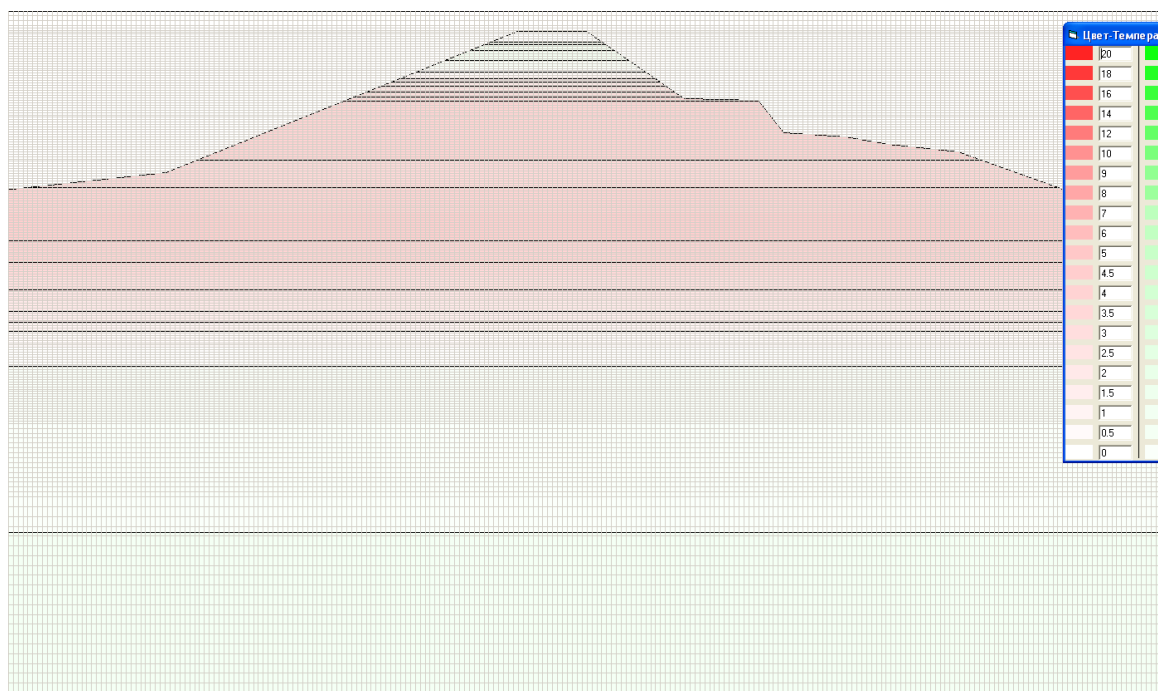


Рис. 2. Начальное температурное поле для начала расчета (05.2021) сечение 3-3

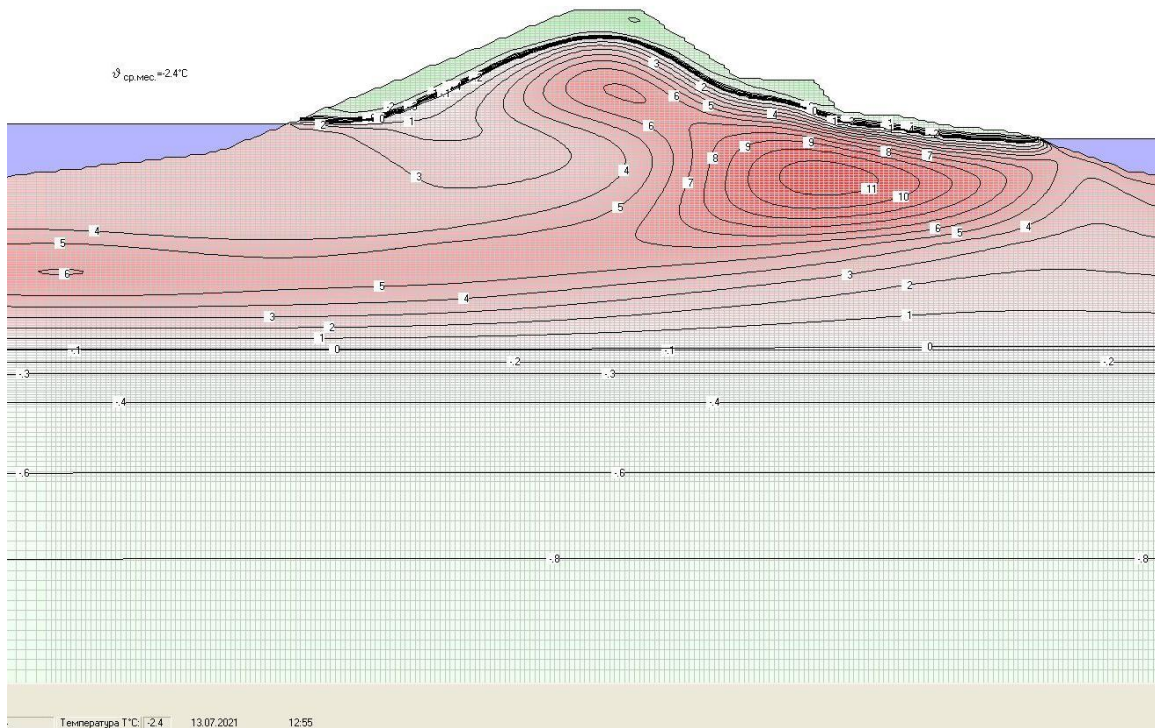


Рис. 3. Температурное поле на 04.2022 г., построенное программой (конец зимних месяцев)

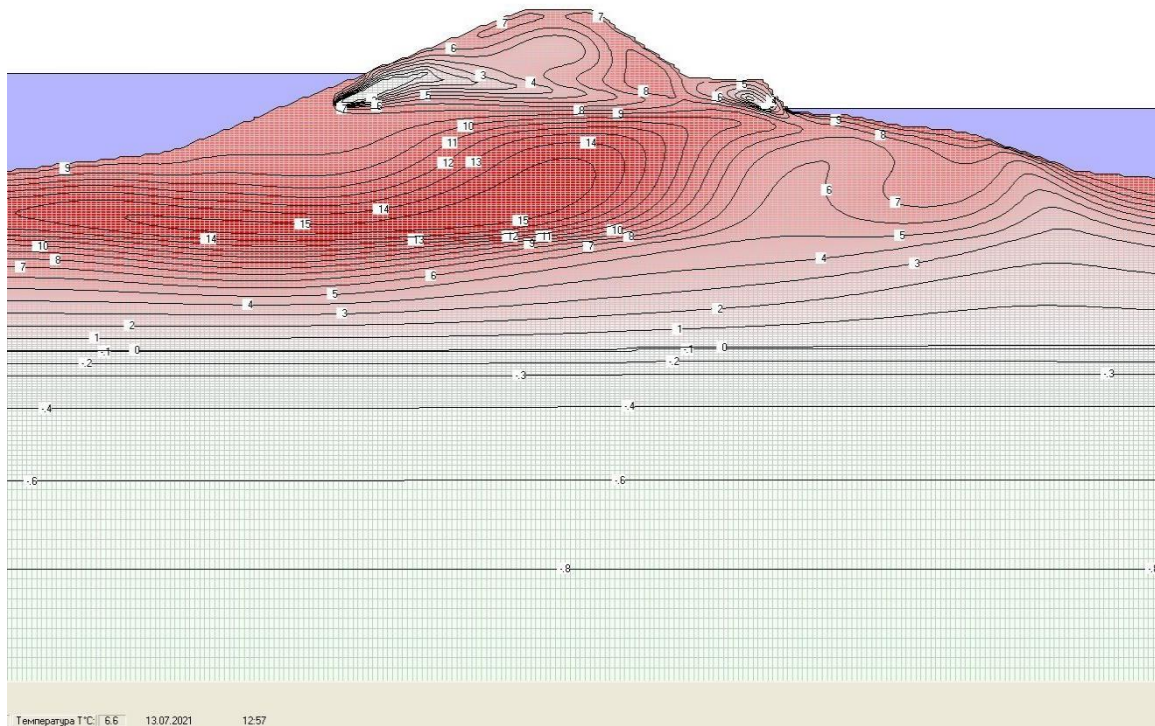


Рис. 4. Температурное поле на 09.2022 г., построенное программой (конец летних месяцев)

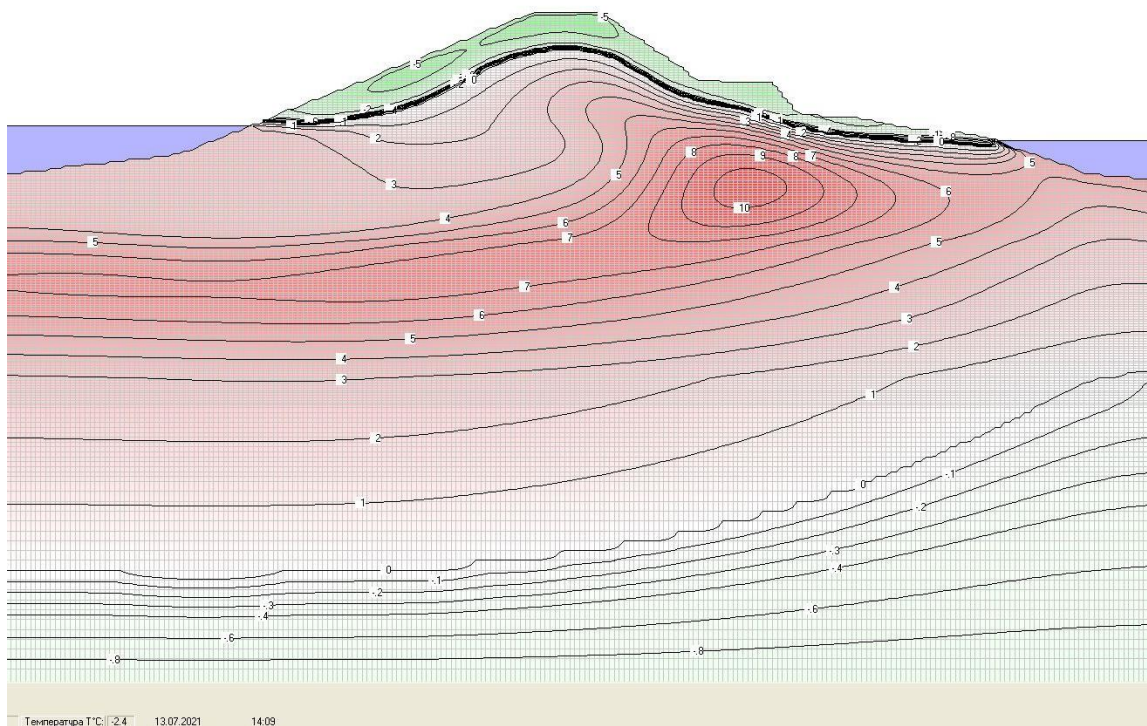


Рис. 5. Температурное поле на 04.2050 г., построенное программой (конец зимних месяцев)

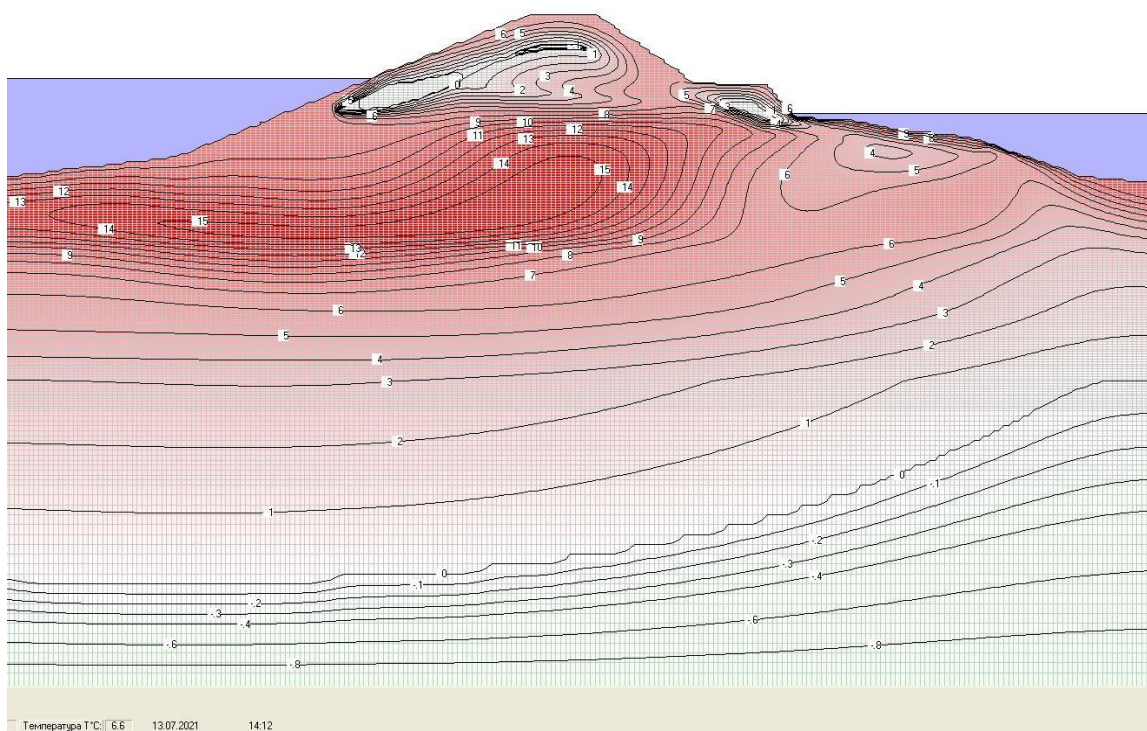


Рис. 6. Температурное поле на 09.2050 г., построенное программой (конец летних месяцев)

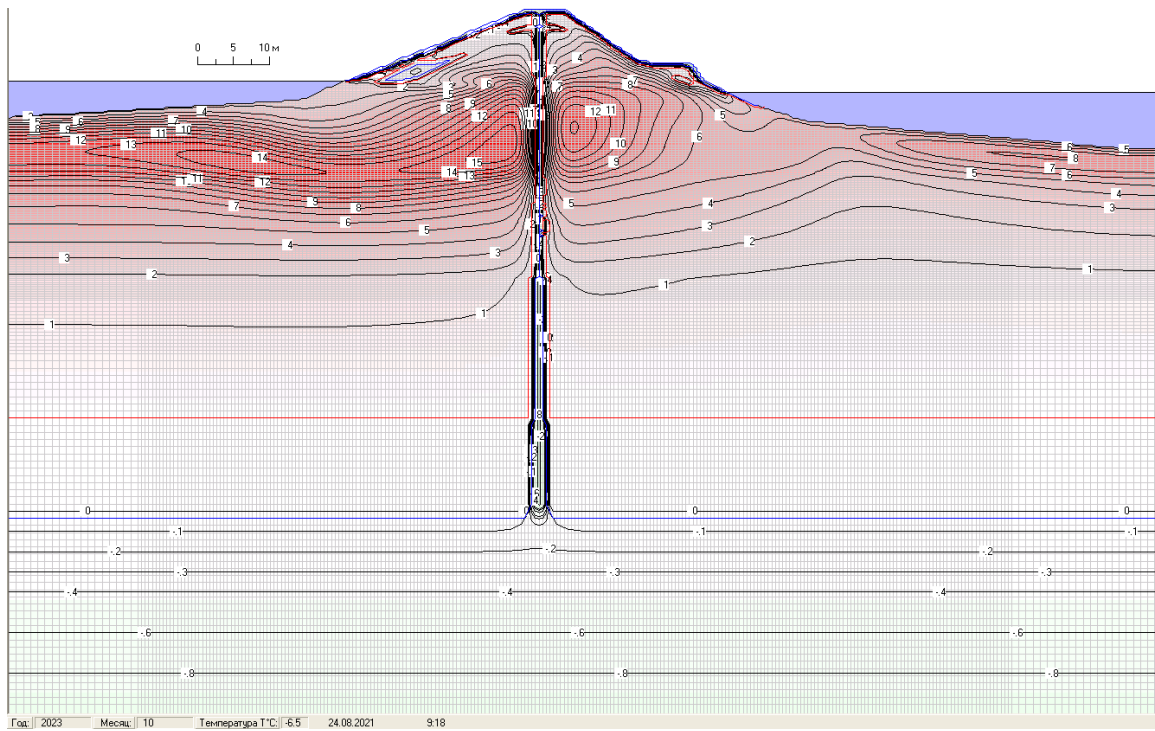


Рис. 7. Температурное поле на 10.2023 г., построенное программой. Включение морозильной колонки

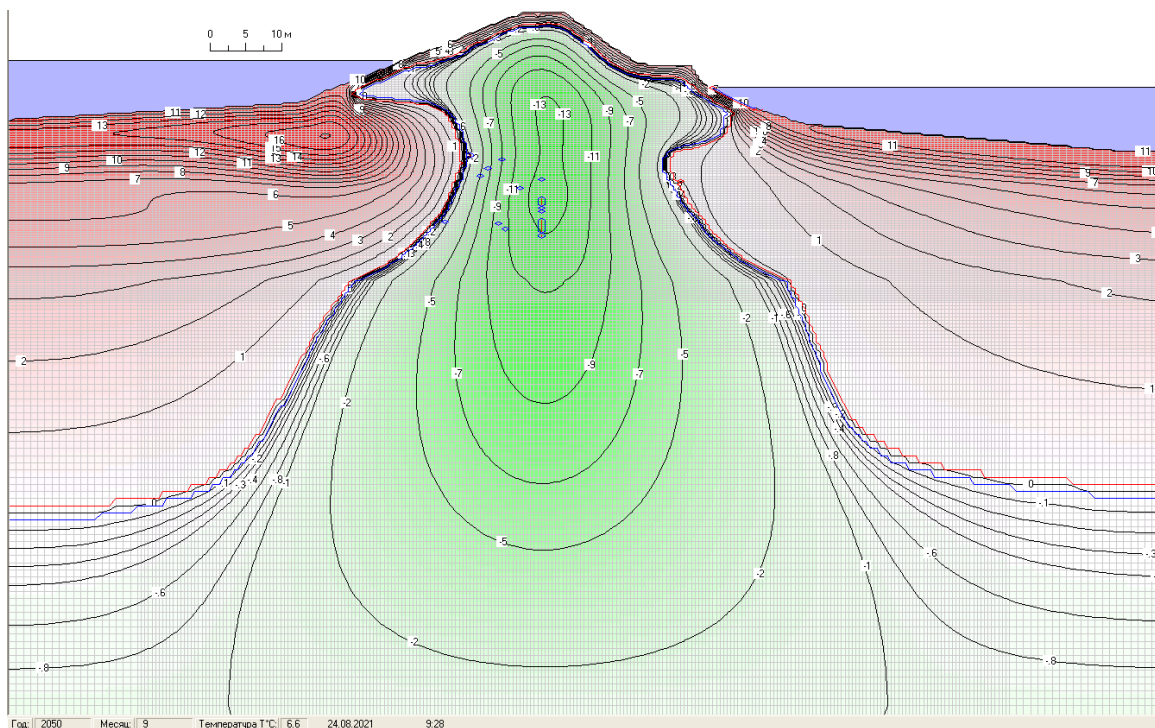


Рис. 8. Температурное поле на 09.2050 г., построенное программой (при использовании морозильной колонки)



Физико-механические характеристики грунтов, принятые для дальнейших расчетов температурного режима

Номер ИГЭ	Описание ИГЭ	Плотность, ρ г/см ³	Плотность при полном водонасыщении, ρ_s г/см ³	Влажность, W д. ед.	Коэффициент пористости, e , д. ед.	Пористость, n , %	Степень влажности, S_r д. ед.	Удельное сцепление, C , кПа	Угол внутреннего трения, φ градус	Модуль деформации, E , МПа	S_t МКал/(м ³ *сут*градус)	S_m МКал/(м ³ *сут*градус)	C_k МКал/(м ³ *градус)	Z_{bf} м/сут	V_{faz} градус
0	Каменная наброска	1.98	2.00	0.05	0.62	39.00	0.21	6	40	24	0.0322	0.035	0.6168	20	-0.15
		2.00	2.00					6	40	24				20	
1	Насыпной грунт (супесь пылеватая твердая)	1.56	1.87	0.13	0.96	49.00	0.37	15.6(6)	6(6)	7(6)	0.01656	0.01848	0.492	10.14 / 4.04 (7)	-0.28
3	Насыпной грунт (песок средней крупности рыхлого сложения), малой степени водонасыщения	1.49	1.88	0.05	0.87	47.00	0.15	1	25	12	0.01608	0.01728	0.386	5.34	-0.24
5	Насыпной грунт (песок мелкий рыхлого сложения)	1.50	1.87	0.08	0.91	48.00	0.23	2	28	18	0.01992	0.02256	0.422	9.78	-0.10
6	Насыпной грунт (песок средней крупности рыхлого сложения)	1.53	1.89	0.07	0.86	47.00	0.22	1	35	30	0.01944	0.0216	0.417	14.12 / 3.74 (7)	-0.10
8	Песок средней крупности рыхлый, малой степени водонасыщения	1.58	1.88	0.11	0.87	47.00	0.34	1	35	30	0.02472	0.02856	0.471	3.74	-0.10
9	Супесь пылеватая	1.89	1.97	0.22	0.74	43.00	0.80	9	18	10	0.042	0.0432	0.897	0.1	-0.15
10	Песок мелкий	1.97	1.99	0.24	0.67	41.00	0.95	0	31	22	0.0504	0.05496	0.735	3.31	-0.10
11	Песок мелкий	1.95	2.00	0.22	0.66	40.00	0.88	0	31	22	0.04728	0.05208	0.702	0.001	-0.10
12	Песчаник	2.57	2.57	0.02	0.08	8.00	0.72	45	36	100	0.1368	0.1368	0.589	0.001	0.00



Талая зона тела плотины будет иметь температуру от +3 до +13 °С в конце теплых месяцев (сентябрь) и от +3 до +5 °С в конце холодных месяцев (апрель).

С 2030–2045 года температурный режим тела дамбы практически не меняется за исключением сезонных колебаний (квазистационарное состояние).

Основание дамбы за период с 2022 по 2050 будет оттаивать с 17 до 40 м (от уровня дна р. Лены). Температура грунтов в основании к 2050 г. прогнозируется от +3 до +10 °С в конце холодных месяцев и от +6 до +15 °С в конце теплых месяцев.

В рамках проводимых прогнозных расчетов рассматривался случай изменения температурного режима при устройстве морозильных колонок для прекращения фильтрации воды через дамбу (рис. 7 и 8 цв. вклейки).

Согласно выполненным прогнозным расчетам, при устройстве морозильных колонок в первый год работы формируется мерзлая область (рис. 7 цв. вклейки), которая сохраняется и в теплое время года. Данная область исключает фильтрацию. За счет исключения фильтрации, аккумуляции «холода» и отрицательной среднегодовой температуры данная область с течением времени увеличивается и достигает размеров до 20 м к 2050 году (рис. 8 цв. вклейки) с прогнозируемой температурой -9 °С к концу летних месяцев и -15 °С к концу зимних месяцев. Все тело и основание плотины, согласно прогнозным расчетам, будет находиться в мерзлом состоянии, за исключением слоя сезонно оттаивающего грунта, формирующегося к концу летних месяцев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов : свод правил : издание официальное : утвержден Приказом Минрегиона России от 29.12.2011 N 635/18 : актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84* : дата введения 01 января 2013 г. : редакция от 24. 01. 2019. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

2. СП 23.13330.2018. Основания гидротехнических сооружений : свод правил : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Минстроя России от 13.08.2018 N 513/пр : актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85* : дата введения 14 февраля 2019 г. – URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 08.11.2023). – Режим доступа : КонсультантПлюс. Законодательство. ВерсияПроф (ННГАСУ). – Текст : электронный.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016612890. Российская Федерация. Программа расчета температурного режима земляных плотин северной климатической (TRND-Calc V3.0) : № 2016610216 ; заявл. 12.01.2016 ; зарегистрирована 11.03.2016 ; опубликована 20.04.2016 / Е. Н. Горохов, В. И. Логинов, С. Я. Скворцов ; правообладатель Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Бюллетень № 4. – 1 с. – Текст : непосредственный.

4. Прогноз изменения температурного режима многолетнемерзлых грунтов при защите устья скважины в зимний период при двухгодичном цикле поисково-разведочного бурения на арктическом шельфе : отчет по НИР / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет ; руководитель темы доктор технических наук Е. Н. Горохов, исполнитель С. А. Крупинов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2018. – 138 с. – Текст : непосредственный.

5. Анализ фильтрационной прочности и статической устойчивости основания и тела дамбы инженерной защиты селитебной территории в ССКЗ / Е. Н. Горохов,



Р. В. Чжан, А. А. Маленов [и др.]. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4 (60). – С. 112–118.

GOROKHOV Evgeny Nikolaevich¹, doctor of technical sciences, holder of the chair of bases, foundations and engineering geology; CHZHAN Rudolf Vladimirovich², doctor of technical sciences, chief researcher-consultant of the laboratory of engineering geocryology; MALENOV Aleksandr Anatolevich¹, senior teacher of the chair of bases, foundations and engineering geology; SKVORTSOV Sergey Yakovlevich¹, senior teacher of the chair of bases, foundations and engineering geology; CHZHAN Andrey Antonovich², candidate of technical sciences, research associate of the laboratory of engineering geocryology; ZABOLOTNIK Pavel Stanislavovich², candidate of geologo-mineralogical sciences, senior research associate of the laboratory of engineering geocryology

FORECAST OF THE TEMPERATURE REGIME OF THE BASE AND BODY OF THE DAM OF ENGINEERING PROTECTION OF RESIDENTIAL TERRITORY IN THE PERMAFROST ZONE

¹ Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7(831) 430-54-94;
e-mail: nn-oif@yandex.ru

² Melnikov Permafrost Institute of SB RAS
36, Merzlotnaya St., Yakutsk, 677010, Russia. Tel.: +7 (4112) 39-08-01;
e. mail: zhang@mpi.ysn.ru

Key words: dam, thawed and frozen soils, filtration calculations, slope stability.

The results of calculations of the temperature regime of the base and body of the dam of engineering protection of residential territory located in permafrost, performed in order to identify the causes of the emergency condition of the structure, are presented.

REFERENCES

1. SP 39.13330.2012 Plotiny iz gruntovykh materialov [Rock fill dams] : svod pravil : utverzhdyon Prikazom Minregiona Rossii ot 29.12.2011 N 635/18 : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.06.05-84* : data vved. 01 yanvarya 2013 g. : red. ot 24. 01. 2019. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
2. SP 23.13330.2018 Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Foundation of hydraulic structures] : svod pravil : utverzhdyon i vved. v deystvie Prikazom Ministroya Rossii ot 13.08.2018 N 513/pr : aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 2.02.02-85* : data vved. 14 fevralya 2019 g. – URL: <http://www.consultant.ru> (data obrascheniya: 08.11.2023). – Rezhim dostupa : KonsultantPlyus. Zakonodatelstvo. VersiyaProf (NNGASU).
3. Svidetelstvo o gos. registratsii programmy dlya EVM 2016612890. RF. Programma raschyota temperaturnogo rezhima zemlyanykh plotin severnoy klimaticheskoy (TRND-Calc V3.0) [Certificate of state registration of a computer program № 2016612890. RF. Program for calculating the temperature regime of earthen dams in the northern climate (TRND-Calc V3.0)] : № 2016610216; zayavl. 12.01.2016; zareg.11.03.2016; opubl. 20.04.2016 / E. N. Gorokhov, V. I. Loginov, S. Ya. Skvortsov ; pravoobladatel Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t. Byulleten № 4. – 1 p.



4. Prognoz izmeneniya temperaturnogo rezhima mnogoletnemyorzlykh gruntov pri zashchite ustya skvazhiny v zimniy period pri dvukhgodichnom tsikle poiskovo-razvedochnogo bureniya na arkticheskom shelfe [Forecast of changes in the temperature regime of permafrost soils when protecting the wellhead in winter during a two-year cycle of prospecting and exploration drilling on the Arctic shelf] : Nauchno-tekhnicheskiy otchyot / Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t ; ruk. temy d.t.n. E. N. Gorokhov, ispol. S. A. Krupinov. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2018. – 138 p.

5. Gorokhov E. N., Chzhan R. V., Malenov A. A., Skvortsov S. Ya., Chzhan A. A., Zabolotnik P. S. Analiz filtratsionnoy prochnosti i staticheskoy ustoychivosti osnovaniya i tela damby inzhenernoy zashchity selitebnoy territorii v SSKZ [Analysis of filtration strength and static stability of the base and body of the dam of the residential area engineering protection in the permafrost zone]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal. Nizhegorod. gos. arhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 4 (60). P. 112–118.

© **Е. Н. Горохов, Р. В. Чжан, А. А. Маленов, С. Я. Скворцов, А. А. Чжан, П. С. Заболотник, 2023**

Получено: 31.08.2023 г.