

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КОМПОНЕНТОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В КРИОГЕННОЙ ЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ Г. НАДЫМ)

© 2013 г. И. В. Абатурова, И. А. Емельянова

*Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: Irina.eka@mail.ru*

Поступила в редакцию 21.09.2012 г.

Статья посвящена оценке и прогнозу изменений инженерно-геологических условий (ИГУ) городских территорий в криолитозоне. Рассмотрена методика интегральной оценки компонентов ИГУ, основанная на компьютерном моделировании и применении аппарата математической статистики. Проведено специальное (прогнозное) инженерно-геологическое районирование территории г. Надым.

Ключевые слова: *городские территории, криолитозона, компоненты инженерно-геологических условий, литотехническая система, геологические параметры, прогноз, интегральная оценка.*

Оценка и прогноз состояния литотехнической системы (ЛТС) городской территории в сложных инженерно-геологических условиях (ИГУ) не могут быть выполнены с помощью традиционных методов инженерной геологии – они требуют принципиально новых подходов, основанных на анализе и синтезе взаимодействий компонентов ИГУ и комплекса сооружений города, рассматриваемых в качестве единой ЛТС. Целью прогноза ИГУ таких объектов является получение информации о местах развития, видах, частоте и механизмах неблагоприятных процессов, которые могут привести к деформациям зданий и сооружений, а также возможность правильно спланировать мероприятия по управлению состоянием литотехнической системы, создать инженерно-геологическую основу для разработки мероприятий по инженерной защите.

Для решения поставленных целей авторами использована методика прогноза изменения инженерно-геологических условий, основанная на принципах комплексной количественной оценки [3, 4], для территории г. Надым. Рациональное сочетание вербального описания взаимодействия сооружения с приповерхностной частью литосферы и математических методов позволяет осуществить интегральную оценку ИГУ, процедура которой представлена следующим алгоритмом: формирование набора компонентов ИГУ и их количественное выражение, построение моделей полей геологических параметров, выбор целевого предиката, построение и анализ корреляционной матрицы, определение весовых коэффициентов, нормирование характеристик, расчет и построение модели поля интегрального показателя, которая в свою очередь ста-

нет основой при составлении карты специального инженерно-геологического районирования территории города по степени устойчивости с выделением участков, благоприятных для строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

С целью установления закономерностей пространственной изменчивости компонентов инженерно-геологических условий необходимо полученную информацию перевести из качественной формы в количественную. Для решения данной задачи были предложены геологические параметры оценки компонентов ИГУ, к которым относятся: показатель дисперсности грунтов (C_d , д.ед.), мощность торфа (m_t , м), глубина залегания подошвы торфа (h_t , м), мощность мерзлых перелетков ($m_{пер.}$, м), глубина залегания кровли многолетне-мерзлых пород ($K_{ММП}$, м), плотность мерзлого грунта ($\rho_{мерз.}$, г/см³), плотность сухого грунта (ρ_d , г/см³), суммарная влажность (W_c , д.ед.), влажность за счет незамерзшей воды (W_n , д.ед.), суммарная льдистость (L_c , д.ед.), глубина сезонного промерзания ($h_{сп.}$, м), глубина сезонного оттаивания ($h_{со.}$, м).

Построение моделей полей геологических параметров выполнено методами математического моделирования с применением компьютерных технологий с использованием программного обеспечения ArcGis на основе результатов инженерно-геологических исследований. Полученные модели позволили установить общие и локальные закономерности изменения природных компонентов, которые являются основой интегральной оценки и прогноза ИГУ [2].

Для целей оценки и прогноза изменений инженерно-геологических условий города с помощью интегрального показателя в качестве целевого пре-

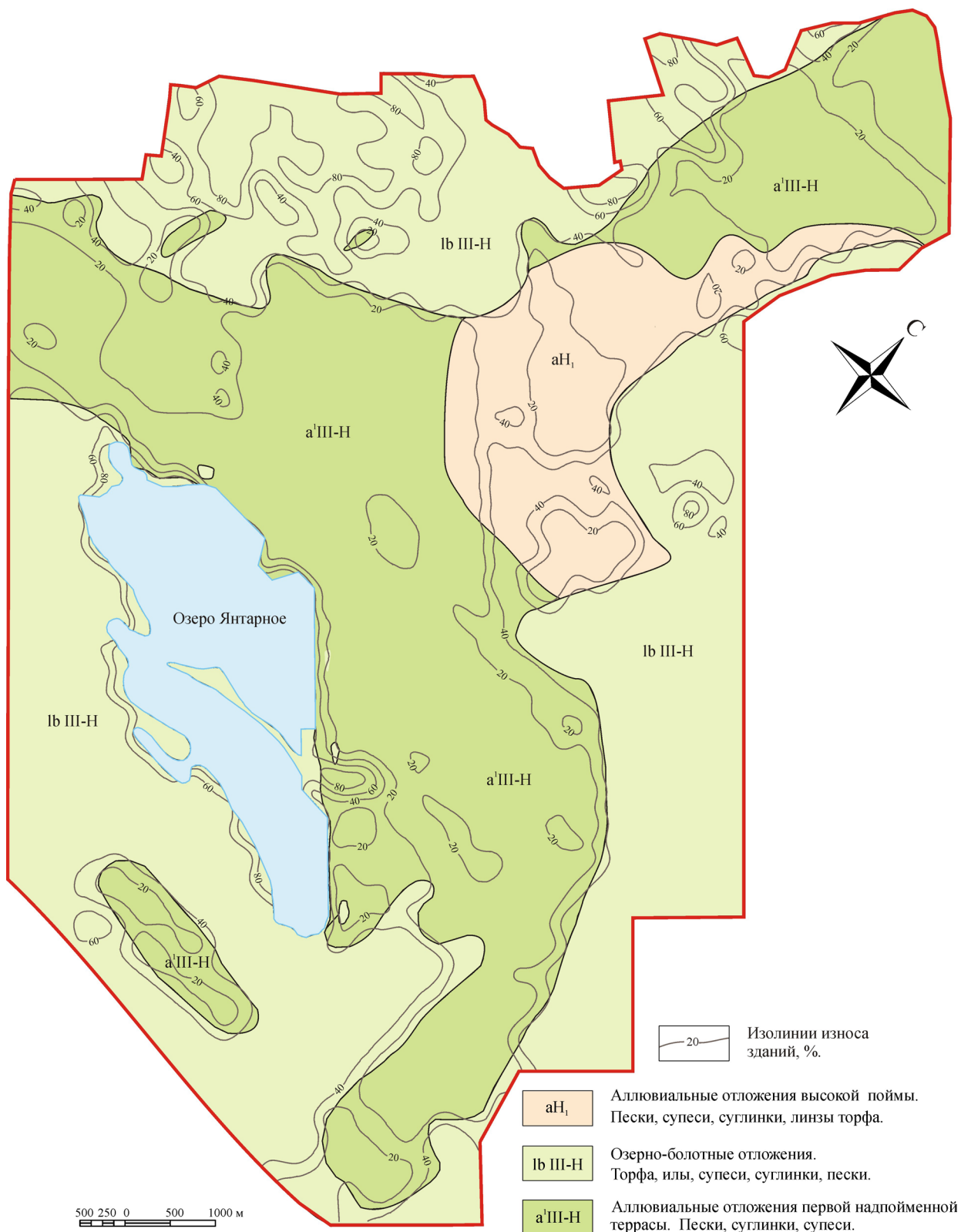


Рис. 1. Модель поля износа зданий

диката (зависимой переменной) принят износ зданий (оценка физического износа всех конструктивных элементов здания по данным БТИ, %) (рис. 1).

Методами корреляционно-регрессионного анализа установлены статистически значимые связи между износом зданий (I_{ϕ} , %) и геологическими

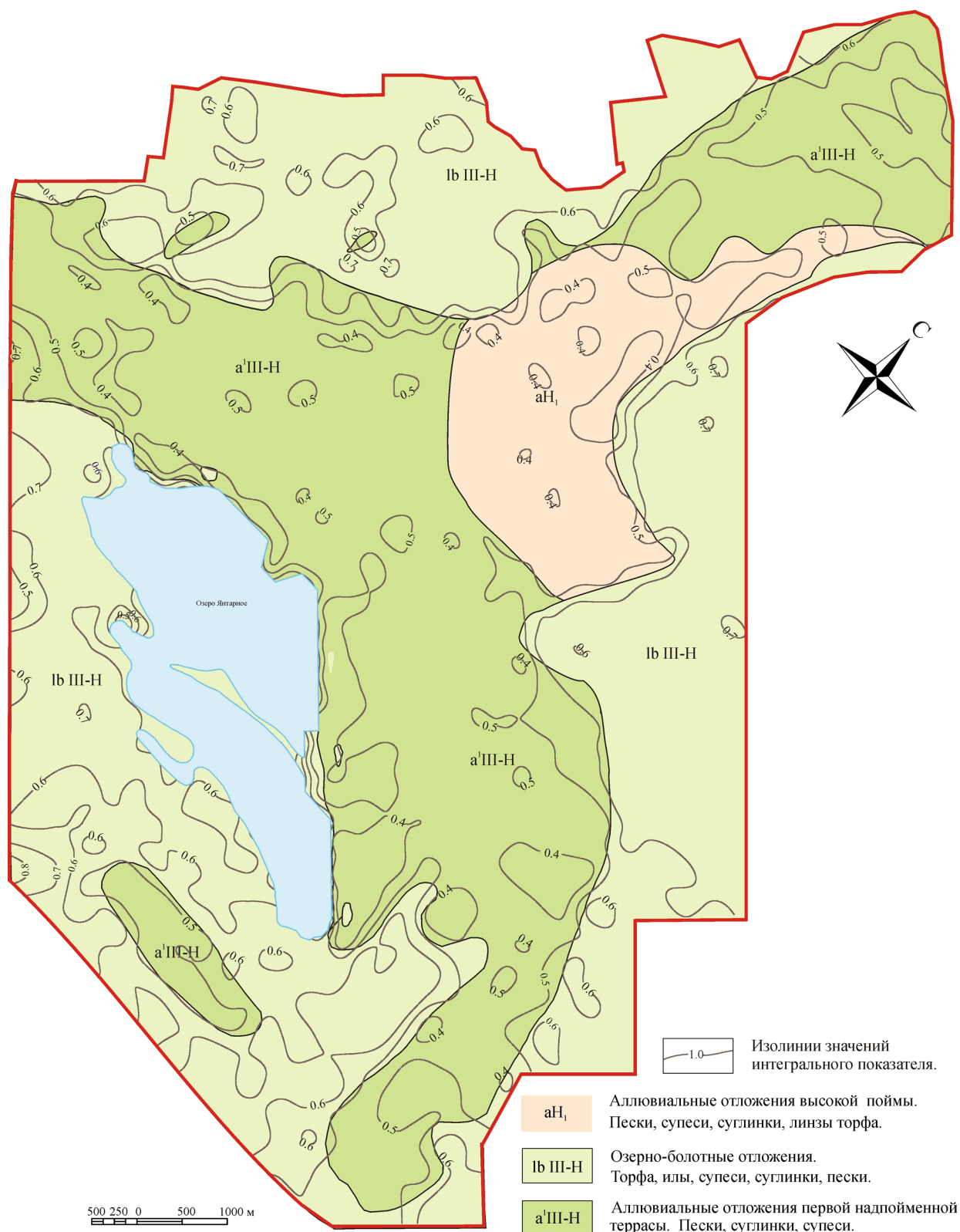


Рис. 2. Модель поля интегрального показателя.

параметрами компонентов ИГУ. В результате получено множественное уравнение регрессии, имеющее следующий вид:

$$I_{\phi} = 37.73 + 8.74 \cdot C_d + 1.03 \cdot m_t + 2.12 \cdot h_t + 0.96 \cdot m_{\text{пер}} - 0.23 \cdot K_{\text{ММП}} - 2.18 \cdot \rho_{\text{мерз}} - 43.89 \cdot \rho_d + 2.66 \cdot W_c + 0.01 \cdot W_H - 1.47 \cdot L_c - 2.48 \cdot h_{\text{СП}} - 2.36 \cdot h_{\text{СО}}. \quad (1)$$

Таблица 1. Доля вклада (вес) геологического параметра в интегральный показатель

Параметр ИГУ	C_d	m_t	h_t	$m_{пер}$	$K_{ммп}$	$\rho_{мерз}$	ρ_d	W_c	W_H	L_c	$h_{СП}$	h_{CO}
Доля вклада, д.ед.	0.12	0.02	0.06	0.08	0.04	0.13	0.12	0.12	0.06	0.13	0.09	0.03

Значение множественного коэффициента корреляции (0.92), свидетельствует о наличии тесной связи между износом зданий и компонентами ИГУ, т.е. подтверждает правильность построения содержательной концептуальной модели.

Кроме того, пошаговый регрессионный анализ позволил определить долю вклада (вес) каждого геологического параметра в интегральный показатель (табл. 1).

Относительную долю вклада можно установить, сопоставив его с общим вкладом всех переменных:

$$g_i = \frac{|\beta_i \times r_{iy}|}{\sum_{i=1}^p |\beta_i \times r_{iy}|}; \quad \sum_{i=1}^p g_i = 1 \quad (2)$$

где g_i – весовой коэффициент, д.ед.; β_i – коэффициент множественной регрессии; r_{iy} – парные коэффициенты корреляции между износом зданий и количественными характеристиками компонентов ИГУ.

Следующим этапом работы является нормирование значений геологических параметров, которое позволит производить дальнейшие расчеты вне зависимости от единиц измерения:

$$R_i^n = (x_i - x_{\max}) / (x_{\max} - x_{\min}) \quad (3)$$

где R_i^n – нормированная оценка i -го геологическо-

го параметра ИГУ, д. ед.; x_i – частное значение параметра; $x_{\max}$ – максимальное значение параметра; $x_{\min}$ – минимальное значение параметра.

Все нормированные значения геологических параметров заключены в интервале от 0 до 1. При этом 0 характеризует наиболее благоприятное значение данного компонента ИГУ, а 1 – наоборот, наиболее неблагоприятное.

По средним значениям нормированных оценок геологических параметров был рассчитан интегральный показатель сложности ИГУ (J_Σ , д.ед.), который представляет собой линейную аддитивную функцию нормированных значений компонентов ИГУ, взвешенных по вкладу в оценку:

$$J_\Sigma = \sum_{i=1}^p g_i \times R_i^n \quad (4)$$

где n – число значимых параметров ИГУ.

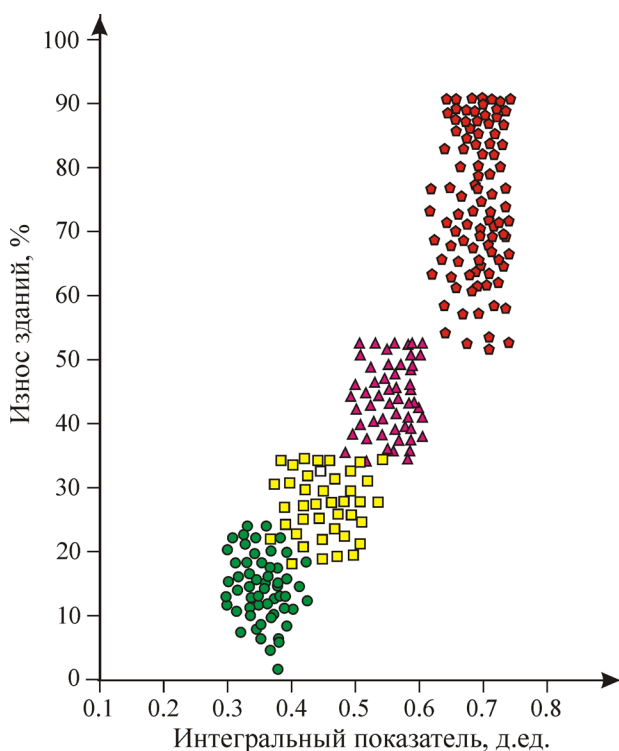
Заключительным этапом интегральной оценки ИГУ является построение модели поля интегрального показателя сложности ИГУ. С этой целью для каждого из 1310 квадратов сетки были рассчитаны значения интегрального показателя и была синтезирована модель его поля (рис. 2).

Сопоставление полей параметров, отражающих ИГУ территории г. Надым с полем интегрального показателя обнаружило их сходство и позволило сделать вывод о том, что структура поля J_Σ отражает геологическую обстановку, закономерности пространственной изменчивости компонентов ИГУ рассматриваемой территории. По структуре поля можно дать сравнительную оценку сложности ИГУ, а величина J_Σ является критерием этой оценки.

Для установления граничных значений интегрального показателя был построен график зависимости от него износа зданий (рис. 3). Анализ этого графика показал, что зависимость между изучаемыми показателями является линейной и в данном случае по резким изменениям износа зданий возможно выделение четырех участков с различными значениями J_Σ : I участок – $J = 0.32-0.4$ д.ед.; II участок – $J = 0.4-0.5$ д.ед.; III участок – $J = 0.5-0.6$ д.ед.; IV участок – $J = 0.6-0.76$ д.ед.

Логическим завершением интегральной оценки ИГУ городской территории является выполнение специального инженерно-геологического районирования, целью которого является установление участков, благоприятных для строительства зданий и сооружений.

На основании установленных закономерностей изменения ИГУ с учетом рассчитанного интегрального показателя вся изучаемая территория разделена на четыре таксономические единицы, обладающие определенной категорией сложности ИГУ,

**Рис. 3.** Зависимость износа зданий от интегрального показателя.

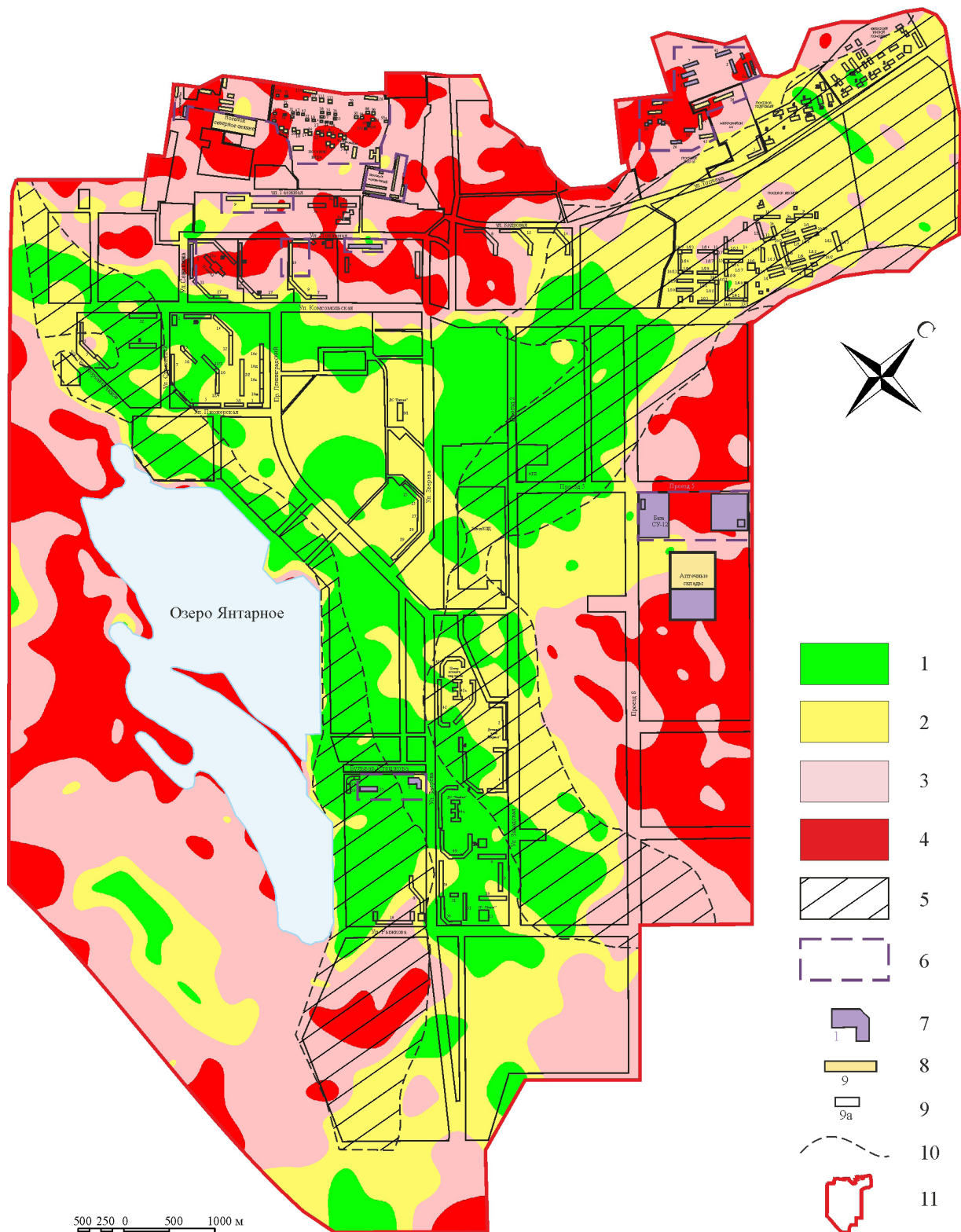


Рис. 4. Карта специального инженерно-геологического районирования территории г. Надым.

1 – территории благоприятные для строительства; 2 – территории, условно благоприятные для строительства; 3 – территории, условно неблагоприятные для строительства; 4 – территории, неблагоприятные для строительства; 5 – территории потенциального подтопления в летний период водами несвязных таликов, поверхностными и техногенными водами; 6 – территории с техногенной деградацией перелетков и реликтового слоя ММП; 7 – здания с установленной деформацией и износом более 50%; 8 – здания с установленной деформацией и износом 30–50%; 9 – здания с установленной деформацией и износом 10–30%; 10 – граница территории потенциального подтопления; 11 – граница муниципального образования г. Надым.

Таблица 2. Характеристика территорий по классам устойчивости, отвечающим разной сложности инженерно-геологических условий

Класс устойчивости территории	Интегральный показатель ИГУ, д.ед.	Износ зданий, %	Геологическое строение	Геокриологические и гидрогеологические особенности	Инженерно-геологические процессы и явления	Качественная характеристика функционирования зданий
Относительно устойчивые (I класс)	0.32–0.4	5–25	I надпойменная терраса, высокая пойма, аллювиальные отложения (пески мелкие и средней крупности)	талое состояние грунтов, кровля ММП на глубине более 50 м, участками развиты перелетки, УГВ более 10 м	формирование прослоев и линз новообразований мерзлоты	здания хорошо функционируют, испытывают равномерную осадку ($S \leq 1/2 S_{np}$), необходимо соблюдать правильную эксплуатацию
Средней устойчивости (II класс)	0.4–0.5	25–40	I надпойменная терраса, высокая пойма, аллювиальные отложения (пески, супеси, суглинки, местами заторфованные)	преимущественно талое состояние грунтов, кровля ММП на глубине более 50 м, участками развиты перелетки и реликты мерзлоты, УГВ – 3–7 м	потенциальное подтопление, формирование прослоев и линз новообразований мерзлоты, неравномерная осадка грунтов	угроза нормальной эксплуатации, неравномерная осадка ($S \leq 1/2 S_{np} - S_{np}$), требуется принятие мер для предотвращения деформаций
Низкой устойчивости (III класс)	0.5–0.6	35–50	I надпойменная терраса, высокая пойма, озерно-болотные отложения (сложное фациальное замещение грунтов: песков, супесей, торфов)	преимущественно мерзлое состояние грунтов, глубина залегания кровли ММП – 0.0–10.0 м, температуры мерзлых грунтов $(-0.1) - (-2)^\circ\text{C}$, пески: $L_c = 0.30 - 0.51$ д.ед., торфа: $L_c = 0.52 - 0.58$ д.ед.	потенциальное подтопление, формирование “техногенных озер” и чаш оттаивания, морозное пучение, деградация ММП, суффозия, неравномерная осадка грунтов	деформации зданий носят предаварийный характер, отмечается неравномерная осадка ($S = S_{np} - 2S_{np}$), требуется принятие мер по устранению причин деформаций
Неустойчивые (IV класс)	0.6–0.76	>50	I надпойменная терраса, высокая пойма, озерно-болотные отложения (пески с прослоями торфа и заторфованных супесей и суглинков)	мерзлое состояние грунтов, кровля ММП залегает с поверхности, температуры мерзлых грунтов $(-0.1) - (-2)^\circ\text{C}$, $L_c = 0.55 - 0.87$ д.ед., $W_c = 2.98 - 14.20$ д.ед.	подтопление, морозное пучение, формирование “техногенных озер” и чаш оттаивания, деградация ММП, неравномерная осадка грунтов	деформации зданий носят аварийный характер, отмечается неравномерная осадка ($S \geq 2S_{np}$), эксплуатация невозможна, требуется проведение специальных мероприятий по укреплению фундаментов

отвечающие разным классам устойчивости, – относительно устойчивые, средней устойчивости, низкой устойчивости, неустойчивые [1] (рис. 4, табл. 2). К первому классу относятся территории, благоприятные для строительства. Включают районы развития несквозного талика глубиной более 10 м с развитием перелетков или островной реликтовой мерзлоты, сложенные с поверхности песками, на отдельных участках потенциально подтопляемые над мерзлотными водами. Второй класс включает территории условно благоприятные для строительства. Включают районы несквозных таликов глубиной более 10 м с развитием перелетков или островной реликтовой мерзлоты, сложенных с поверхности песками либо торфами мощностью до 1.0 м, потенциально подтопляемые над мерзлотными водами. В третий класс входят территории, условно неблагоприятные для строительства. Включают районы развития ММП, залегающих с поверхности, сложенных торфами мощностью до 3.0 м, и район несквозного талика глубиной 5–10 м и более 10 м, потенциально подтопляемые в летний период надмерзлотными, поверхностными и техногенными водами. К четвер-

тому классу относятся территории, неблагоприятные для строительства. Включают район развития ММП, залегающих с поверхности, вскрытой мощностью 50.0 м, сложенных с поверхности торфами мощностью 1.0–7.5 м, район несквозного талика глубиной 10 м с развитием островной реликтовой мерзлоты, подтопляемые в летний период надмерзлотными поверхностными и техногенными водами.

Полученные оценки воздействия геологических процессов в целом согласуются с распространением деформаций зданий промышленно-гражданского назначения, а также с данными об ИГУ строительства на отдельных участках.

Представленная картографическая модель может являться основой для проектирования зданий и сооружений, а также принятия архитектурно-планировочных решений на территории г. Надым.

Перечисленные выше результаты работ представляют собой прогноз изменений инженерно-геологических условий городской инфраструктуры г. Надым, который следует рассматривать в качестве основы для разработки структуры и организации мониторинга ЛТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатурова И.В., Грязнов О.Н., Стороженко Л.А., Емельянова И.А. Современные природные и техноприродные экзогенные геологические процессы Обь-Надымского междуречья // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 2. С. 161–171.
2. Абатурова И.В., Емельянова И.А., Савинцев И.А. Основные принципы инженерно-геологического районирования // Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии: тр. Междунар. науч. конф. М.: МГУ, 2010. С. 210–211.
3. Емельянова И.А., Стороженко Л.А. Оценка инженерно-геокриологических условий городских территорий // Многообразие современных геологических процессов и их инженерно-геологическая оценка: тр. Междунар. науч. конф. М.: МГУ, 2009. С. 139–140.
4. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. 350 с.

Рецензент Ю.К. Иванов

Integrated assessment of engineering-geological condition components of city infrastructure in a cryogenic zone (by the example of Nadym)

I. V. Abaturova, I. A. Emelyanova

Ural State Mining University

The article is devoted to estimation and prediction of changes of engineering-geological conditions (EGC) of urban areas in cryolithozone. A technique of integrated estimation of EGC components based on computer modeling and methods of mathematical statistics is considered. Special (prognostic) engineering-geological zoning of Nadym territory is carried out.

Key words: *urban areas, cryolithozone, components of engineering-geological conditions, lithotechnical system, geological parameters, prediction, integrated estimation.*