

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2023. Т. 25. № 3. С. 143–150.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2023; 25 (3): 143–150.

Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624.151.2:624.131.543(571.16)

DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-143-150

EDN: GCUAQH

РАЗВИТИЕ ОСАДОК ЗДАНИЙ ПРИ ПОНИЖЕНИИ ГРУНТОВЫХ ВОД НА ОПОЛЗНЕВОЙ ТЕРРИТОРИИ ЛАГЕРНОГО САДА В Г. ТОМСКЕ

**Сергей Васильевич Ющубе, Александр Александрович Тарасов,
Артем Сергеевич Устюгов**

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Одним из методов стабилизации оползневых склонов является понижение уровня грунтовых вод. При этом вопрос влияния водопонижения на техническое состояние уже существующих зданий изучен недостаточно. Учет данного фактора непосредственно оказывает влияние на техническое состояние зданий и сооружений, т. к. помогает предотвратить развитие дополнительных деформаций фундаментов и грунтов основания.

Цель работы. Оценить влияние устройства дренажной горной выработки со сквозными фильтрами на техническое состояние зданий, попадающих в зону водопонижения.

Методы исследования. Изучение результатов многолетних натуральных наблюдений за уровнем грунтовых вод на участке водопонижения, результатов мониторинга за техническим состоянием зданий, анализ и обобщение полученных данных.

Результаты работы. В статье приведены сведения о выполненных работах по оценке влияния водопонижения грунтовых вод территории, прилегающей к оползневому склону, на техническое состояние зданий и сооружений на примере комплекса объектов одной из томских больниц. Оценка осуществлялась по результатам годового мониторинга за плано-высотным положением строительных конструкций, наблюдением за изменением состояния строительных конструкций, а также анализа материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных на данной площадке в период с 1987 по 2020 г. В результате проведенного комплекса работ было установлено, что водопонижение привело к развитию неравномерных деформаций строительных конструкций и снижению их технического состояния вследствие неравномерного доуплотнения грунтов в пределах зоны водопонижения.

Выводы. Водопонижение грунтовых вод вблизи существующих зданий и сооружений может существенно сказаться на их техническом состоянии вследствие доуплотнения грунта даже на значительном расстоянии от водопонижающих устройств. При разработке проектов водопонижения грунтовых вод особое внимание следует уделять анализу неоднородности грунтовой толщи в пределах пятна застройки и оценке её влияния на формирование относительных деформаций и кренов частей зданий относительно друг друга.

Ключевые слова: водопонижение, техническое состояние, мониторинг, наблюдение за осадками, сверхнормативные осадки, неравномерные осадки

Для цитирования: Ющубе С.В., Тарасов А.А., Устюгов А.С. Развитие осадок зданий при понижении грунтовых вод на оползневой территории Лагерного сада в г. Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2023. Т. 25. № 3. С. 143–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-143-150. EDN: GCUAQH

ORIGINAL ARTICLE

**BUILDING FOUNDATION SETTLEMENT
IN GROUNDWATER LOWERING ON SLIDING TERRITORY
OF LAGERNY GARDEN IN TOMSK****Sergei V. Yushchube, Aleksandr A. Tarasov, Artem S. Ustyugov***Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk, Russia*

Abstract. Groundwater lowering is a method of stabilizing landslide slopes. To date, the effect of water reduction on the technical condition of buildings has not been sufficiently studied. This may negatively affect the technical condition of buildings due to the development of additional deformation of foundations and foundation soils.

Purpose: The aim of this work is to assess the impact of cased hole with filters on the technical condition of buildings in the area of groundwater lowering.

Methodology/approach: Long-term field observations of the groundwater level at the water supply site; monitoring of the technical condition of buildings; analysis and generalization of the data obtained.

Research findings: Based on annual monitoring of the building height, monitoring of changes in the building state and the engineering and geological analysis are performed in the period from 1987 to 2020. It is found that groundwater lowering leads to building deformation and a decrease in its technical condition due to nonuniform soil compaction in this area.

Research implication: Groundwater lowering near buildings can significantly affect their technical condition due to the soil compaction even at a considerable distance from the water-lowering devices. In developing groundwater lowering projects, special attention should be paid to heterogeneity of the ground layer on the building site and its impact on the formation of relative deformation of buildings.

Keywords: groundwater lowering, technical condition, monitoring, excess settlement, differential settlement

For citation: Yushchube S.V., Tarasov A.A., Ustyugov A.S. Building foundation settlement in groundwater lowering on sliding territory of Lagerny Garden in Tomsk. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2023; 25 (3): 143–150. DOI: 10.31675/1607-1859-2023-25-3-143-150. EDN: GCUAQH

Введение

Подземные воды – важный элемент гидрогеомеханической системы. Перемена их типичного режима влечет за собой изменение физико-механических свойств грунтов не только в зоне водопонижения, но и оказывает влияние на весь грунтовый массив. Так, понижение уровня грунтовых вод может привести к изменению отметок дневной поверхности земли вследствие доуплотнения грунтов, тем самым спровоцировав дополнительные деформации зданий и сооружений. Повышение уровня часто приводит к снижению прочностных и деформационных характеристик грунтов, что также неблагоприятно сказывается на тех-

ническом состоянии строительных конструкций. Такие явления отмечены как в работах отечественных [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], так и зарубежных ученых [8]. В качестве примера такого влияния приведены результаты обследования и мониторинга комплекса зданий городской больницы в г. Томске.

Инженерно-геологические условия

В административном отношении площадка расположения зданий больницы находится в южной части г. Томска в районе Лагерного сада. В геоморфологическом отношении территория строительства приурочена к правому берегу р. Томи и к окраинной части склона Томь-Яйского междуречья. В пределах рассматриваемого участка выделяются следующие геоморфологические элементы: водораздельное плато, оползневый склон правого берега р. Томи и пойма р. Томи. Рельеф пологоволнистый, абсолютные отметки поверхности земли изменяются на плато от 132,0 до 76,0 м на склоне. Правобережный эрозионный склон Томи, прилегающий к рассматриваемому участку, осложнен оползневыми цирками, которые разделены узкими межоползневыми гребнями. Оползневые тела и овраги образованы по осям тектонических нарушений высоких порядков, оперяющих тектонические разломы вдоль правого берега р. Томи.

В геологическом строении до глубины 45–50 м принимают участие верхне- и среднечетвертичные озерно-аллювиальные отложения, неоген-палеогеновые отложения, представленные элювиальными отложениями коры выветривания глинистых сланцев мел-палеогенового возраста и нижне-карбонического возраста. По состоянию на 1980-е гг. было выявлено несколько горизонтов грунтовых вод. Техногенные подземные воды вскрыты на глубинах 0,5–11,5 м. Водовмещающими грунтами являются преимущественно супеси, а локальными водоупорами – суглинки и глины. Палеоген-неогеновый водоносный горизонт вскрыт в интервале глубин 22,1–25,8 м. Водовмещающими грунтами являются пески различной крупности с линзами суглинка. Водоупором служат глины и суглинки коры выветривания палеозойских глинистых сланцев. Ниже обнаружены палеозойские подземные воды, приуроченные к зонам тектонического дробления. По условиям залегания эти воды относятся к трещинному типу, имеют хорошо выраженный напорный характер. В пределах зон тектонических нарушений грунты обладают пониженной прочностью и повышенным водонасыщением¹.

Для инженерной защиты склона в 1992–2006 гг. были разработаны и внедрены противооползневые мероприятия, включающие в том числе устройство на глубине 48–50 м от поверхности плато дренажной горной выработки (ДГВ) с вертикальными дренажными скважинами круглогодичного действия [2, 3, 9]. При этом одна из ветвей ДГВ (рис. 1) проходит в непосредственной близости от рассматриваемых зданий (40–150 м). Анализ материалов инженерно-геологических изысканий, выполненных в 1980-х гг. и в 2020 г., показал, что ввод ДГВ в эксплуатацию позволил существенно понизить уровень грунтовых вод, в том числе и на площадке расположения рассматриваемых зданий [10, 11].

¹ Анализ влияния геологических процессов на техническое состояние конструкций зданий городской больницы № 3 по ул. Нахимова, 3, в г. Томске // Технический отчет. 2021. С. 5–46.

Так, по состоянию на 2020 г. в пределах глубины 20 м грунтовые воды обнаружены не были, а глинистые грунты в верхней части разреза перешли из мягкопластичного – текучего в тугопластичное – твердое состояние². Сопоставление инженерно-геологических условий рассматриваемой площадки по состоянию на 1987–2020 гг. приведено на рис. 2.

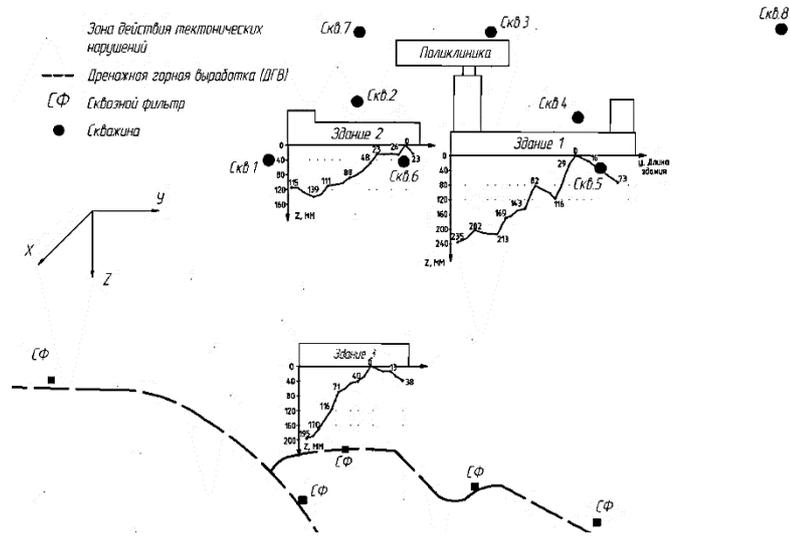


Рис. 1. Взаимное расположение рассматриваемых зданий, тектонических нарушений и дренажной горной выработки

Fig. 1. Mutual location of buildings, tectonic faults, and drainage excavation

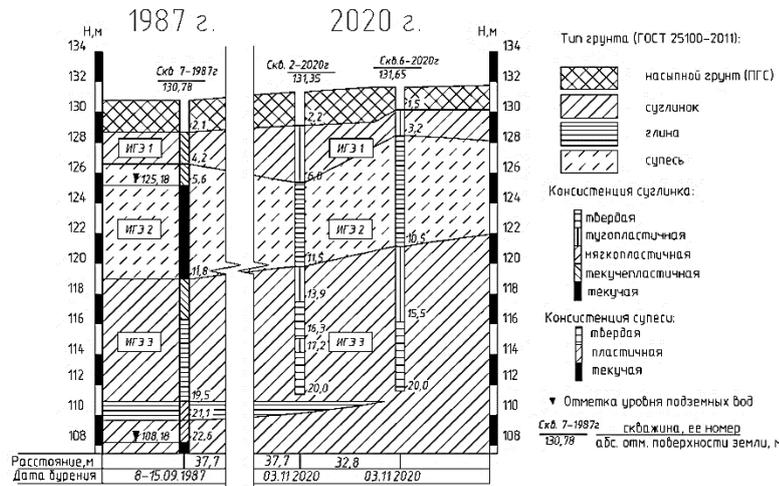


Рис. 2. Инженерно-геологические условия площадки расположения зданий по состоянию на 1987–2020 гг.

Fig. 2. Engineering and geological conditions of building site in 1987–2020

² О результатах мониторинга зданий ОГАУЗ «ГКБ № 3 им. Б.И. Альперовича», расположенных по адресам: г. Томск, ул. Нахимова, 3, и г. Томск, ул. Нахимова, 3, стр. 1 // Технический отчет. 2021. С. 5–114.

Краткая характеристика комплекса зданий

Рассматриваемый комплекс представлен несколькими разноэтажными зданиями высотой от 3 до 5 этажей. Конструктивная схема зданий – с продольными и поперечными несущими кирпичными стенами. Здания имеют сложную форму в плане. Пространственная жесткость обеспечивается совместной работой стен, дисков железобетонных перекрытий и фундаментов. Фундаменты зданий ленточные сборные на естественном основании мелкого заложения глубиной 3–3,5 м от уровня планировки, а также ленточные свайные из призматических забивных свай заводского изготовления.

По состоянию на 2020 г. строительные конструкции зданий имеют многочисленные дефекты и повреждения. Основными и наиболее распространенными дефектами являются сквозные вертикальные и наклонные трещины в продольных стенах зданий, характер и расположение которых указывают на наличие сверхнормативных и неравномерных деформаций оснований фундаментов зданий.

Результаты мониторинга и анализ материалов изысканий

По результатам геодезических наблюдений было установлено, что разность деформаций фундамента зданий в абсолютных значениях достигает 235 мм, а в относительном эквиваленте – 0,0056 [12]. При этом изменения высотного положения контрольных марок в течение года не выявлено, что указывает на стабилизацию деформации на момент наблюдений. Проверочные расчеты с использованием схемы в виде линейно-деформируемого полупространства показали, что расчётные осадки фундаментов зданий не превышают 30 мм, а разность осадок – 0,001. Очевидно, что зафиксированные в процессе работ значения разности деформаций нельзя объяснить только осадками фундаментов зданий от приложенных к ним нагрузок [13].

Сравнение физико-механических характеристик грунтов, находящихся в зоне водопонижения, показало, что за указанный период произошло значительное изменение их свойств [14]. Так, влажность для суглинков в среднем уменьшилась на 16–22 %, а для супеси – на 55 %, в то время как плотность сухого грунта увеличилась на 5–7 % (табл. 1). Таким образом, водопонижение грунтовых вод привело к значительному уплотнению грунтов в верхней части разреза, оседанию дневной поверхности, а следовательно, и к дополнительным деформациям зданий. Однако равноудаленность участков зданий от дренажных скважин, доуплотнение грунтов вследствие водопонижения не объясняют в полной мере наличия существенной разности осадок фундаментов по длине зданий, зафиксированной в ходе мониторинга. Сопоставление данных о разности осадок зданий с расположением зон тектонических нарушений показало, что участки зданий с максимальными деформациями явно тяготеют к зонам тектонических нарушений. Сравнение данных об изменении плотности грунта по отдельным скважинам, находящимся в зонах тектонических нарушений и за их пределами, позволило выявить, что среднее изменение плотности скелета грунтов на этих участках отличается на 2,6–2,9 % (табл. 2). С учетом мощности грунтов в границах водопонижения такое расхождение

в доуплотнении грунтов дает разность осадок около 200 мм, что хорошо согласуется с данными мониторинга (см. рис. 1).

Таблица 1

Сравнение средних показателей физико-механических характеристик грунтов по состоянию на 1987–2020 гг.

Table 1

Average values of physical and mechanical properties of soils in 1987–2020

ИГЭ	Плотность сухого грунта, т/м ³		Коэффициент пористости		Влажность	
	1987 г.	2020 г.	1987 г.	2020 г.	1987 г.	2020 г.
1	1,51	1,59	0,788	0,70	27,03	22,6
2	1,6	1,71	0,693	0,58	24,49	10,9
3	1,5	1,59	0,798	0,71	29,44	22,9

Таблица 2

Сопоставление степени доуплотнения грунтов в зонах с тектоническими нарушениями и за их пределами

Table 2

Additional soil compaction in and outside tectonic fault areas

ИГЭ	Изменение плотности грунтов в зонах с тектоническими нарушениями за период с 1987 по 2020 г., %					Изменение плотности грунтов в зонах без тектонических нарушений за период с 1987 по 2020 г., %			Разность изменения плотности в зонах с тектоническими нарушениями и за их пределами
	Скв. 1	Скв. 2	Скв. 3	Скв. 4	Среднее по скв. 1–4	Скв. 5	Скв. 6	Среднее по скв. 5, 6	
1	9,15	9,15	12,54	8,14	9,75	6,33	7,33	6,83	2,91
2	8,77	9,09	11,63	9,73	9,80	6,91	7,45	7,18	2,62

Заключение

Таким образом, в результате выполненного комплекса работ было установлено, что водопонижение грунтовых вод вблизи зданий и сооружений может существенно сказаться на их техническом состоянии вследствие доуплотнения грунта даже на значительном расстоянии от водопонижающих устройств. При разработке проектов водопонижения грунтовых вод особое внимание следует уделять анализу неоднородности грунтовой толщи в пределах пятна застройки и оценке её влияния на формирование относительных деформаций и кренов частей зданий относительно друг друга.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Николаев А.П. О деформациях в глубоких горизонтах грунтовых массивов на участках водопонижения // Гидрогеология и карстоведение : межвузовский сб. научных трудов. Пермь, 2009. С. 224–231.
2. Гальперин А.М., Семенова Е.А. Прогноз геомеханических процессов на горных предприятиях на основе теории консолидации породных массивов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2016. № 2. С. 111–120.
3. Гальперин А.М., Мосейкин В.В., Пуневский С.А., Семенова Е.А. Проблемы геомеханики и инженерной геологии в техногенных массивах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № S1. С. 5–13.
4. Карпенко Н.П., Беглярова Э.С., Соколова С.А., Матвеева Т.И. Фильтрационные расчеты водопонижения при строительстве инженерных коммуникаций // Природообустройство. 2021. № 1. С. 126–133.
5. Коноплянец А.А., Ярцева Е.Н. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод // Обзор ВИМС, гидрогеология и инженерная геология. Москва, 1983. 48 с.
6. Гольц С.И. Влияют ли откачки подземных вод на оседание земной поверхности территории Москвы и Подмосковья // Бюллетень МОИП, отд. геол. 1972. № 47. С. 42–51.
7. Нуриджанян С.Ш., Саркисян В.С., Хачатурян Г.Т. Прогноз оседания земной поверхности при осушении грунтов // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 6. С. 1330–1333.
8. Фи Х.Т., Строчкова Л.А. Типизация грунтовых толщ территории города Ханой (Вьетнам) при изучении оседания земной поверхности при водопонижении // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 4. С. 6–17.
9. Ольховатенко В.Е. Геоэкологические проблемы г. Томска и разработка мероприятий по инженерной защите территории // Обской вестник. Новосибирск : Научно-издательский центр ОИНГМСОРАН, 1999. С. 12–17.
10. Ольховатенко В.Е., Чернышова Н.А., Краевский А.А. Геоэкологическая оценка и прогноз осадок грунтовых толщ при длительном водопонижении на оползнеопасной территории Лагерного сада г. Томска. Томск : Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета, 2013. 123 с.
11. Чернышова Н.А. Геоэкологическая оценка и прогноз развития осадок грунтовых толщ при длительном водопонижении на оползнеопасной территории г. Томска : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Томск, 2007. 158 с.
12. Устюгов А.С. Анализ фактических осадок зданий на глинистых грунтах в г. Томске и их сопоставление с предельно допустимыми значениями // Избранные доклады 67-й Университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. Томск, 2021. С. 228–234.
13. Ющин А.И. Особенности проектирования фундаментов зданий на основаниях, деформируемых горными выработками. Москва : Стройиздат, 1980. 135 с.
14. Яровой Ю.И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитенов на Урале. Пермь : УрГАПС, 1999. 258 с.

REFERENCES

1. Nikolaev A.P. Soil deformation in deep horizontal areas in groundwater lowering areas. In: *Coll. Papers 'Hydrogeology and Karst Science'*. Perm, 2009. Pp. 224–231. (In Russian)
2. Gal'perin A.M., Semenova E.A. Forecast of geomechanical processes at mining enterprises on the basis of rock mass consolidation theory. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2016; (2): 111–120. (In Russian)
3. Gal'perin A.M., Moseikin V.V., Punevskii S.A., Semenova E.A. Geomechanics and engineering geology in man-made rock mass. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2018; (S1): 5–13. (In Russian)
4. Karpenko N.P., Beglyarova E.S., Sokolova S.A., Matveeva T.I. Filtration calculations of groundwater lowering in engineering communication construction. *Prirodoobustroistvo*. 2021; 1: 126–133. (In Russian)
5. Konoplyantsev A.A., Yartseva E.N. Settlement of the earth's surface due to low groundwater levels. Moscow, 1983. 48 p. (In Russian)

6. *Gol'ts S.I.* Whether groundwater pumping affects the earth's surface settlement in Moscow and the Moscow region. *Byulleten MOIP*. 1972; 47: 42–51. (In Russian)
7. *Nuridzhanyan S.Sh., Sarkisyan V.S., Khachatryan G.T.* Forecast of the earth's surface settlement during soil drainage. *Dokl. AN SSSR*. 1987; 6: 1330–1333. (In Russian)
8. *Fi Kh.T., Strokova L.A.* Typification of soil strata in the city of Hanoi (Vietnam) in studying subsidence of the earth's surface during dewatering. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2017; 4: 6–17. (In Russian)
9. *Ol'khovatenko V.E.* Geoecological problems of the Tomsk city and measures for engineering protection of the territory. *Obskoi vestnik, Novosibirsk*, 1999. Pp. 12–17. (In Russian)
10. *Ol'khovatenko V.E., Chernyshova N.A., Kraevskii A.A.* Geoecological assessment and forecast of soil sedimentation during prolonged water drawdown on the landslide territory of Lagerny Garden in Tomsk. Tomsk: TSUAB, 2013. 123 p. (In Russian)
11. *Chernyshova N.A.* Geoecological assessment and forecast of soil sedimentation during prolonged water drawdown on the landslide territory of Lagerny Garden in Tomsk. PhD Thesis. Tomsk, 2007. 158 p. (In Russian)
12. *Ustyugov A.S.* Analysis of building settlement on clay soils in Tomsk and its maximum allowable values. In: *Selected Papers 67th University Conf. of Students and Young Scientists*. Tomsk, 2021. Pp. 228–234. (In Russian)
13. *Yushchin A.I.* Design features of building foundations deformed by mining. Moscow: Stroizdat, 1980. 135 p. (In Russian)
14. *Yarovoi, Yu.I.* Forecast of deformations of the earth's surface and protection of urban development during subway construction in the Urals. Perm, 1999. 258 p. (In Russian)

Сведения об авторах

Ющубе Сергей Васильевич, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, sv@tsuab.ru

Тарасов Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, tar.a.a@mail.ru

Устюгов Артем Сергеевич, студент, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ram10kler6@gmail.com

Authors Details

Sergei V. Yushchube, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, sv@tsuab.ru

Aleksandr A. Tarasov, PhD, A/Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, tar.a.a@mail.ru

Artem S. Ustyugov, Student, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia, ram10kler6@gmail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.03.2023
Одобрена после рецензирования 25.03.2023
Принята к публикации 16.05.2023

Submitted for publication 14.03.2023
Approved after review 25.03.2023
Accepted for publication 16.05.2023