

<b>Название журнала</b>	<b>ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ</b>				
<b>Издательство</b>	<b>Геомаркетинг</b>				
<b>Год выпуска</b>	<b>2012</b>	<b>Том</b>		<b>Номер выпуска</b>	<b>3</b>



	<b>Название статьи</b>	<b>Страницы</b>	<b>Цит.</b>
	<b>КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА</b> <i>Богданов М.И.</i>	<b>4-5</b>	<b>0</b>
	<b>ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ</b>		
	<b>АКАДЕМИК ГАНИ АРИФХАНОВИЧ МАВЛЯНОВ (1910-1988)</b> <i>Шибакова В.С.</i>	<b>6-16</b>	<b>1</b>
	<b>ИНЖЕНЕРНОЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ</b>		
	<b>МИГРАЦИОННЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ЮЖНЫЙ И СЕВЕРНЫЙ ПРЕДЕЛЫ АРЕАЛА И СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА</b> <i>Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н.</i>	<b>18-32</b>	<b>9</b>
	<b>ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ И БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ</b> <i>Кондратьев В.Г.</i>	<b>34-42</b>	<b>0</b>
	<b>МОНИТОРИНГ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>		
	<b>ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАК ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА</b> <i>Королев В.А., Кузнецова Н.В.</i>	<b>44-55</b>	<b>0</b>
	<b>ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ</b>		
	<b>КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСАДОК ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ЩИТОВЫМ СПОСОБОМ</b> <i>Елгаев В.С.</i>	<b>56-67</b>	<b>0</b>
	<b>КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ</b>		
	<b>АКТУАЛЬНАЯ МОНОГРАФИЯ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ</b> <i>Королев В.А.</i>	<b>68-70</b>	<b>0</b>
	<b>КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ</b>	<b>71</b>	<b>0</b>
	<b>ПЕРЕЧЕНЬ ПРЕДСТОЯЩИХ КОНФЕРЕНЦИЙ, СЕМИНАРОВ, ВЫСТАВОК</b>	<b>72</b>	<b>0</b>
	<b>ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ</b>	<b>73</b>	<b>0</b>

# ДА ЗДРАВСТВУЮТ ОРЕШКИ КЕШЬЮ!



**М.И. Богданов**

В далекие уже от сегодняшнего дня времена существования Советского Союза было принято обучать старшеклассников в учебно-производственных комбинатах чему-нибудь полезному — работать на токарном станке, паять, шить, готовить еду. Конечно, эти профессии вряд ли быгодились выпускникам нашей школы в районе станции метро «Аэропорт» в Москве. Большинство выпускников, живших в окружающих школу домах Союза писателей, Союза архитекторов, Союза кинематографистов, Большого театра, поступали после школы в институты. Один из выпускников нашей школы, окончивший ее за несколько лет до меня, стал известен всей стране как премьер-министр в начальные годы правления Бориса Ельцина. Сейчас школа носит имя этого выпускника, имя Егора Тимуровича Гайдара (в школе я увлекался фотографией, и одна из встреч его отца Тимура Гайдара со школьниками была запечатлена мной для школьной стенгазеты).



Тем не менее, несмотря на явную невосребованность в будущем наших рабочих профессий, мы должны были их получать. Моим выбором стала профессия кулинара. Около станции метро «Беговая» находился наш учебно-производственный комбинат, где нам были прочитаны лекции по введению в кулинарную специальность. Затем последовала одна экскурсия на кухню гостиницы «Интурист» на улице Горького, где мы увидели незнакомое нам до того таинство приготовления несоветского блюда «картофель фри», пару дней работы на кухне пищевого комбината авиационного объединения около станции метро «Динамо» — и мы были готовы к самостоятельной работе! Нас направили на кондитерскую фабрику «Рот-Фронт», где школьникам доверили одну из самых ответственных работ — контроль качества. Целый день, выделенный для занятий в учебно-производственном комбинате, мы стояли около конвейеров с конфетами и отбраковывали конфеты «Вечерний звон». Иногда в них не было орешка на вершине, иногда шоколад не полностью прикрывал начинку. В таком случае бдительный школьник должен был ухватить бракованную конфету, бросить ее в стоящую рядом вагонетку и продолжить свой ответственный труд. Когда вагонетка заполнялась бракованными конфетами, ее увозили и перемалывали брак, превращая вновь в начинку. Рядом стояли другие вагонетки с составными частями. Необычно смотрелись вагонетки с импортными орешками кешью. Вагонетка, до краев заполненная несоветскими кешью, производила впечатление на советского школьника!

Прошло несколько лет. Обучение в вечерней геологической школе привело меня на геологический факультет МГУ, где я сразу стал преподавать школьникам общую геологию, курс которой был уже пройден в мои школьные годы, и таким образом все пожелания старосты группы и комсорга о необходимости вести общественную работу были удовлетворены.



Как и все студенты, я ходил на субботники, понимая, что от этих «добровольных» мероприятий мне не отделаться. Геологический факультет обычно проводил субботники на строительных площадках предприятия «Ин-предстрой». Нам доверяли убирать мусор и копать канавы на территории будущих посольств. На четвертом и пятом курсе один из сотрудников нашей кафедры инженерной геологии, будучи заместителем секретаря комитета комсомола геологического факультета по трудовому воспитанию, пригласил меня ему помогать. Я стал инструктором комитета комсомола, и, когда после пятого курса с красным дипломом и одной четвёркой за пять лет обучения я поступил в аспирантуру, как-то ни у кого не возникло вопроса, кого назначить на освобождающееся после ухода моего начальника место. Так на первом году аспирантуры у меня появилась новая общественная работа — заместитель секретаря комитета комсомола факультета по трудовому воспитанию. К тому времени я уже знал, что не все субботники были делом добровольным, и необходимо было обеспечить, чтобы 1500 членов нашей комсомольской организации факультета зарабатывали так называемые «привлеченные средства» для комсомола. Организовать работу 1500 человек, когда тебе всего 22 года, бывало непросто. Люди не хотели ходить на субботники и убирать мусор! Вот тут мне и пригодились познания приобретенные во время обучения кулинарии. Вспомнилась фабрика «Рот-Фронт» и труд школьников на конвейере, вагонетки с кешью. Мне достаточно было поехать на фабрику, предложить услуги нашей комсомольской организации и ситуация с организацией субботников резко изменилась. Субботники стали проходить на кондитерской фабрике. Конечно, находились те, кто не хотел идти на субботник даже туда. Тем не менее, вагонетки с кешью явно облегчили процесс организации субботников, хотя иногда студенты с трудом выдерживали смену на участке, где конфеты заправливались ликером...

Орешки кешью мне помогли. Люди с гораздо большим удовольствием делали то, что не вызывало у них протест. Так устроен человек.

Многие годы спустя, в мае 2012 года, проходил съезд организации с обязательным членством изыскательских СРО — Национального объединения изыскателей (НОИЗ). На съезде мной было озвучено предложение 32 делегатам съезда, большая часть которых не отвечала даже минимальным требованиям к изыскателям по опыту и квалификации, предъявляемым к специалистам для получения допуска саморегулируемой организации. Предложение заключалось в том, чтобы НОИЗ не пыталось в очередной раз требовать уплаты членских взносов Ассоциацией Инженерные изыскания в строительстве (АИИС) через суд и службу судебных приставов. Они хотели получить от нас 10 миллионов рублей за год. Наше предложение предусматривало, что в соответствии с решением общего собрания АИИС мы направим на разработку необходимых всем нормативных документов 25 миллионов рублей. Это в 2,5 раза больше, чем они хотят получить силой. Эти 25 миллионов нельзя будет украсть. И это гораздо более понятно для нас, чем просто перевод денег в Национальное объединение изыскателей, особенно учитывая выявленный ревизионной комиссией объединения перевод денег руководителем аппарата НОИЗ в компанию, которую он учредил вместе с юристом НОИЗ. Тем не менее, делегаты съезда отказались от 25 миллионов рублей, добровольно направляемых на общественно полезные цели, предпочитая 10 миллионов, которые они затребуют через суд и используют по своему усмотрению. Таким образом, эта внешне демократическая процедура ничего общего не имеет с демократией. Власть должна служить людям, люди не должны служить власти. Послушал делегатов, посмотрел на происходящее. Понял, что мало нас в советское время обучали на учебно-производственных комбинатах. Слишком мало людей, добравшись до власти, пусть даже маленькой, почти иллюзорной, в состоянии понимать, что орешки действуют гораздо лучше для того, чтобы люди шли в желаемом направлении, чем грязь и мусор.

Да здравствуют орешки кешью!

# АКАДЕМИК ГАНИ АРИФХАНОВИЧ МАВЛЯНОВ (1910–1988)

## ACADEMICIAN GANI ARIFHANOVICH MAVLIANOV (1910–1988)

**ШИБАКОВА В.С.**

Старший научный сотрудник Геологического института РАН,  
к.г.-м. н., г. Москва,  
valentina-shibakova@yandex.ru

**SHIBAKOVA V.S.**

A senior staff scientist of the Geological Institute of the RAS,  
candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow,  
valentina-shibakova@yandex.ru



Рис. 1. Академик Гани Арифханович Мавлянов (1910–1988 гг.)

### Аннотация

Данная публикация продолжает серию статей В.С. Шибаковой о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии и о тех ученых, которые были с ним связаны. Она посвящена академику Гани Арифхановичу Мавлянову (1910–1988), который играл большую роль в деятельности совета и был его самой надежной опорой в Средней Азии.

### Abstract

This publication continues the series of V.S. Shibakova's articles about the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology and about the scientists who were associated with it. The paper is dedicated to academician Gani Arifhanovich Mavliyanov (1910–1988) who played a great role in the activities of the council and was the most reliable support of it in Central Asia.

### Ключевые слова:

академик Г.А. Мавлянов; инженерная геология; Средняя Азия; Узбекистан; г. Ташкент; Научный совет АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии.

### Key words:

academician G.A. Mavliyanov; engineering geology; Central Asia; Uzbekistan; Tashkent; Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology.

Продолжая серию статей о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии и о тех, кто был с ним связан, нельзя не рассказать о Гани Арифхановиче Мавлянове (1910–1988) — выдающемся ученом, педагоге и патриоте своей страны, который играл большую роль в деятельности совета и был его самой надежной опорой в Средней Азии. Хотелось бы также написать и о его учителях, соратниках и учениках. В основу данной статьи положены опубликованные материалы, мнения известных ученых, а также личные воспоминания ее автора о встречах, работе и общении с Гани Арифхановичем.

Г.А. Мавлянов принадлежит к славному поколению советских людей, которые строили большую страну, создавали ее могущество, защищали ее в жестоких боях с фашизмом во время Великой Отечественной войны и вновь воссоздавали ее силу и славу. Его вклад в развитие мировой инженерной геологии и международного сотрудничества в этой области весьма значителен и позволяет поставить его в один ряд с Е.М. Сергеевым, М. Арну, Р. Волтерсом, В. Дирманом и другими.

Обратимся к биографии и творческому пути Г.А. Мавлянова, используя публикации различных авторов.

«Гани Арифханович родился 15 января 1910 г. в Ташкенте в семье крестьянина. Его детские годы прошли очень трудно. Он рано лишился отца, и заботы о семье и близких легли на его юношеские плечи. Несмотря на трудности, он смог получить образование, в 1927 г. окончил неполную среднюю школу им. Алишера Навои. Он занимался земледелием и упорно работал над повышением своего образования, учился на рабочих курсах при Среднеазиатском государственном университете. В 1930 г. поступил на горный факультет Среднеазиатского индустриального института (ныне Ташкентский государственный технический университет)», — так описывает начало жизненного пути Г.А. Мавлянова академик Академии наук Республики Узбекистан (АН РУз) К.Н. Абдуллабеков. Далее приведем выдержку из воспоминаний К.О. Ланге: «Кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии в Индустриальном институте руководил мой



отец, профессор О.К. Ланге, с 1924 года проводивший исследования на территории республик Средней Азии и организовавший в Среднеазиатском университете кафедру гидрогеологии. Позже эта кафедра была переведена... в Индустриальный институт. Высокий уровень преподавания и практических работ в интересах народного хозяйства, к которым наряду со штатными сотрудниками привлекались студенты кафедры, уважительно-товарищеское отношение внутри коллектива — все это способствовало углублению интереса молодых студентов к избранной ими специальности. Здесь началось знакомство Гани Арифхановича с моим отцом, которое затем переросло в чувство искренней дружбы и глубокого взаимного уважения ученика и учителя. В 1935 г. Гани Арифханович заканчивает институт. «От каждого — по способностям, каждому — по труду» — это золотое правило как нельзя лучше отражало возможности, открывшиеся перед молодым дипломированным специалистом. Бурный рост народного хозяйства требовал все больше и больше высококвалифицированных кадров. Как один из наиболее перспективных специалистов в своей области, Гани Арифханович был направлен в аспирантуру Московского геологоразведочного института. Врожденный талант исследователя и упорный целенаправленный труд обеспечили успех диссертанта — подготовку и защиту в 1940 г. работы, посвященной важному и в то же время еще мало изученному вопросу — просадочным явлениям в лессах и лессовых городах. По возвращении в родной Индустриальный институт Гани Арифханович быстро проходит служебные ступени от старшего преподавателя до доцента и декана горного факультета».

Чтобы охарактеризовать обстановку, в которой находился Г.А. Мавлянов во время обучения в аспирантуре в г. Москве, обратимся к воспоминаниям И.Г. Коробановой: «В Московском геологоразведочном институте им. С. Орджоникидзе в 1932 г. Ф.П. Саваренский создал первую в мире кафедру инженерной геологии и стал читать впервые в истории высшего образования курс инженерной геологии. Федор Петрович стремился развить в студенческой молодежи инициативу и самостоятельность в научной работе, оригинальность в постановке и решении задач, умение обобщать факты и наблюдения, делать из них правильные научные и практические выводы. Характерной чертой Ф.П. Саваренского как воспитателя и руководителя молодых научных кадров было предоставление им широкой самостоятельности и инициативы. Он стремился к тому, чтобы в результате работы над диссертациями аспирантами и докторантами были получены не только строго обоснованные научные обобщения, но и практические выводы, в той или иной степени способствующие решению народно-хозяйственных задач».

Из вышесказанного становятся понятными выбор темы кандидатской диссертации Г.А. Мавлянова — «Просадочные явления в лессовых и лессовидных породах некоторых районов Узбекистана», ее своевременная подготовка и блестящая защита.

Затем тридцатилетний кандидат наук Г.А. Мавлянов вернулся в родной Ташкент в Среднеазиатский индустриальный институт к своему учителю и другу О.К. Ланге, связь с которым не прерывалась все годы его



Рис. 2. Академик В.А. Обручев и Г.А. Мавлянов за обсуждением его докторской диссертации (Подмосковье, май 1955 г.)

учебы в Москве. Перед ним были открыты большие возможности в педагогической и научной работе. В 1940–1941 гг. он работал сначала доцентом, а затем деканом горного факультета. Но жизнь опрокинула его дальнейшие планы: в июне 1941 г. началась война. Приведем выдержку из воспоминаний самого Г.А. Мавлянова: «Я ушел на фронт добровольцем по зову сердца. Было это в конце 1941 года, когда гитлеровские захватчики рвались к Москве... До самой победы воевал в составе 613-го стрелкового полка 91-й Краснознаменной дивизии (получившей название Мелитопольской) 51-й армии. Должность — агитатор полка. Почти все время находился на переднем крае. Участвовал в боях за освобождение Украины, Крыма, Белоруссии, Латвии, Эстонии, Восточной Пруссии. В ноябре 1943 года я как бы шел по стопам героев гражданской войны: освобождение Перекопа, штурм Турецкого вала. А в январе 1944 года — форсирование залива Сиваш. Вспоминаются морозная ночь, земля, устланная снегом, обжигающий ледяной ветер, грохот и вспышки



Рис. 3. Г.А. Мавлянов в семейном кругу: счастливый муж, мудрый отец и любящий дед (г. Ташкент, 1973 г.). Его супруга Фатиха Мухибовна — профессор Ташкентского политехнического института, сын Нариман и дочь Надира — школьники, которые в будущем пошли по стопам отца, избрав в качестве своей профессии геологию

выстрелов, взрывов. В таких условиях наша дивизия форсировала «Гнилое море», к которому приближались тихо — надо было заставить врага врасплох. Накануне днем все бойцы тщательно проверили выкладку, чтобы ни одна железка ненароком не звякнула. По команде «Вперед!» в ледяную воду ступили мы — политрабники, коммунисты. Остальные бойцы — за нами. Километра полтора шли тихо. А когда до противоположного берега оставалось 200–300 метров, фашисты нас заметили и открыли огонь. Мы с ответным огнем и криком «Ура!» ринулись вперед. Сломав оборону, двинулись вглубь фашистских окопов. По снегу — босиком! Разуться пришлось для того, чтобы промокшие ноги не вмерзли в сапоги. Покрытые шинелями тут же обледенели, стали твердыми и звенящими, как доспехи. Продвинувшись на 4–5 километров в тыл противника, мы захватили плацдарм и заняли оборону. Сушиться и греться было негде, нечем. Вокруг Крымская степь — ни деревца, ни кустика, ни жилья. Грелись в бою. Оборону плацдарма держали с января до середины апреля. В ту пору горячий чай и горячая пища были пределом мечтаний для каждого из нас». «Бои и вновь бои на новых рубежах. Дни и ночи в окопах, дождь, снег и стужа, утомительные пешие переходы, внезапные стычки с врагом, атаки и контратаки, артиллерийские и минометные обстрелы, авиационные бомбежки, броски через заминированные поля, свист пуль, из которых любая может оказаться твоей — многое было в его (Г.А. Мавлянова. — *Авт.*) фронтовой судьбе», — вспоминал Н.А. Жуков, однополчанин Г.А. Мавлянова.

За участие в Крымской операции Г.А. Мавлянов был награжден орденом Красной Звезды, за бои в Курляндии — орденом Отечественной войны II степени. Гани Арифханович был дважды ранен в боях, контужен, имел обморожения рук и ног. Война для него закончилась уже после победы — 10 мая 1945 года, когда окруженная 120-тысячная Курляндская группировка немецко-фашистских войск сдалась в плен.

Отметим, что, пока Г.А. Мавлянов воевал, инженерная геология и гидрогеология под руководством Ф.П. Саваренского, решая задачи военного времени, в том числе по строительству оборонных предприятий, сделали значительные шаги в своем развитии. В 1943 г. Ф.П. Саваренский был избран действительным членом АН СССР. В 1944 г. им была создана Лаборатория гидрогеологических проблем АН СССР, в которой нача-

лись фундаментальные исследования по гидрогеологии и инженерной геологии, был учрежден научный журнал «Труды Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР». Вокруг Ф.П. Саваренского сформировался коллектив ведущих ученых и молодых специалистов. О.К. Ланге, проработав двадцать лет на научно-исследовательской и педагогической работе в Средней Азии, возвратился в Москву, в Московский государственный университет, и установил тесное сотрудничество с Лабораторией гидрогеологических проблем АН СССР.

После возвращения с войны Г.А. Мавлянов снова занялся научной работой. Приведем воспоминания К.О. Ланге об этом периоде: «Мне довелось встретиться и близко познакомиться с Гани Арифхановичем в 1946 году, когда я приехал учиться в Москву на офицерских курсах, а Гани Арифханович завершал прерванную войной учебу в докторантуре. Он часто приходил к моему отцу — молодой красивый узбек в офицерской военной форме без погон... Отец очень ценил способности и успехи Гани Арифхановича, считая его одним из наиболее талантливых своих учеников. Летом они вместе отправились на Памир исследовать Сарезское озеро, Усойский завал. Прodelали несколько пеших маршрутов, ночевали на берегу озера, детально осмотрели завал и пришли к выводу, что его устойчивости пока ничего не угрожает. На попутных машинах вернулись через Хорог в Душанбе. По дороге отец заболел, и Гани Арифханович трогательно заботился о нем до самого выздоровления».

О.К. Ланге «ввел» в академический круг своего ученика Г.А. Мавлянова, который благодаря этому в дальнейшем смог встречаться и общаться с разными учеными, в частности с академиком В.А. Обручевым, крупнейшим специалистом по лессам, академиком Ф.П. Саваренским и другими. Это поспособствовало тому, что первые две послевоенные публикации Г.А. Мавлянова появились в журнале «Доклады Академии наук СССР» уже в 1947–1948 гг. Почти одновременно с этим в «Трудах Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР» в 1948–1949 гг. были опубликованы еще три его статьи. Таким образом, его исследования, посвященные изучению лессов и лессовидных пород Узбекистана, за короткое время стали известны широко-



Рис. 4. Мудрый учитель Октавий Константинович Ланге в день своего девяностолетнего юбилея с учениками. В первом ряду слева направо: А.Ф. Якушова, Г.А. Мавлянов, О.К. Ланге, Н.И. Кенессарин (г. Москва, МГУ, 1973 г., фото В.И. Васильева)



Рис. 5. Участники Первого всесоюзного научно-технического совещания «Инженерно-геологические основы сейсмического микрорайонирования». Г.А. Мавлянов стоит во втором ряду слева (г. Ташкент, ноябрь 1975 г.)

му кругу советских специалистов и о Г.А. Мавлянове заговорили как о талантливом ученом. Научным консультантом по подготовке его докторской диссертации стал В.А. Обручев. Все эти факты подчеркивают, насколько важна была роль О.К. Ланге в становлении его ученика Г.А. Мавлянова как ученого.

Далее из воспоминаний К.О. Ланге: «...После отъезда из Ташкента профессора О.К. Ланге Гани Арифхановичу вместе с другими... предстояло продолжить его дело. Твердо усвоив представление своего учителя о том, что время кустарей-одиночек в науке прошло и что для решения научных и особенно научно-технических и научно-производственных задач необходимы комплексные исследования... он приступает к осуществлению этой идеи. Получив назначение на должность научного сотрудника Института геологии АН УзССР, он уже в 1949 г. добивается организации в этом институте лаборатории инженерной геологии, реорганизованной затем в самостоятельный отдел гидрогеологии и инженерной геологии. Его по-прежнему волнуют проблемы лессовых и лессовидных пород, занимающих подавляющую часть площади равнинных пространств Средней Азии. Продолжая исследования, начатые еще до войны, Гани Арифханович сумел вплотную подойти к решению фундаментальных проблем, связанных с происхождением лессов и их свойствами. Подготовленная Гани Арифхановичем и защищенная им в 1955 г. докторская диссертация на тему

«Генетические типы лессов и лессовидных пород центральной и южной части Средней Азии и их инженерно-геологические свойства» явилась заметным событием в науке и практике. Фактический материал и выводы, составляющие ее содержание, сохраняют свое значение и сегодня. Монографию, изданную на основе этой диссертации, Гани Арифханович посвятил «дорогому учителю профессору Октавию Константиновичу Ланге — основоположнику гидрогеологической и инженерно-геологической науки в Узбекистане».

С защитой докторской диссертации начинается, по существу, новый этап в деятельности Гани Арифхановича. В 1956 г. его избирают членом-корреспондентом АН УзССР, а в 1960-м — академиком. В том же году Гани Арифхановичу удается осуществить заветную мечту — создать в составе АН УзССР самостоятельный Институт гидрогеологии и инженерной геологии — ГИДРОИНГЕО — и стать его первым директором. Наряду с научно-исследовательской продолжается и педагогическая деятельность Гани Арифхановича: в 1957 г. он утверждается в звании профессора, а в 1964 г. назначается заведующим кафедрой гидрогеологии Ташкенского политехнического института. Успехи в развитии теории и практики гидрогеологии и инженерной геологии, достигнутые соратниками и учениками Гани Арифхановича в послевоенные годы под его руководством... позволили завершить на фундаменте, основанном его учителем, создание стройной



Рис. 6. Г.А. Мавлянов принимает президента МАИГ М. Арну. Экскурсия по Приташкентскому району (фото В.С. Шибяковой, апрель 1977 г.)



Рис. 7. Г.А. Мавлянов рассказывает В.С. Шибаковой об особенностях формирования просадочных свойств лессовых пород (Узбекистан, апрель 1977 г.)

гидрогеологической и инженерно-геологической школы Узбекистана, а по существу — всей Средней Азии. Эта преемственность поколений была завершена в 1983 г. присвоением Институту ГИДРОИНГЕО имени профессора Октавия Константиновича Ланге по инициативе Гани Арифхановича Мавлянова.

На время оставим воспоминания К.О. Ланге, содержащие стройную ретроспективу деятельности Г.А. Мавлянова, и обратимся к словам заведующего кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета и проректора МГУ профессора В.Т. Трофимова: «Для нас, инженеров-геологов, наиболее значимы итоги деятельности Гани Арифхановича в области геологии. В первую очередь должен отметить его великие достижения как педагога. Еще в довоенное время он начал работать в Ташкентском индустриальном институте (как доцент, декан горного факультета, а затем многие десятилетия как профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии, одной из сильнейших в стране в этой области знаний). Под научным руководством профессора Г.А. Мавлянова подготовлены сотни специалистов, из них 70 защитили кандидатские и 12 — докторские диссертации. Итог этой деятельности — создание новой, Мавляновской, научной школы. Гани Арифханович рано «пришел» в науку. В 1940 г. он защитил кандидатскую диссертацию, в 1955-м — докторскую. В 1956 г. его из-

брали членом-корреспондентом, а в 1960 г. — академиком. Сфера научных интересов Г.А. Мавлянова была очень широка. Основными направлениями его научной деятельности в области инженерной геологии, с моей точки зрения, являлись: (1) исследование лессовых пород; (2) инженерно-геологическое изучение геологических процессов Средней Азии; (3) региональные инженерно-геологические проблемы этой огромной территории; (4) мелиоративная инженерная геология; (5) инженерная сейсмология; (6) охрана геологической среды. В каждой из этих областей Гани Арифхановичу удалось лично или, в большинстве случаев, со своими учениками выполнить пионерные исследования, признанные отечественным и мировым научным сообществом. Гани Арифханович был автором более 350 научных работ, среди которых 16 монографий. Еще большее число работ, включая обзорные инженерно-геологические карты... территории Средней Азии, было опубликовано под его научной редакцией.

Г.А. Мавлянов был крупнейшим организатором научного сообщества. За свою жизнь он принял участие в создании, а затем и возглавил работу двух новых крупных организаций — Института гидрогеологии и инженерной геологии (1960 г.) и Института сейсмологии АН УзССР (1966 г.). Он также был директором Института геологии АН УзССР, в 1962–1964 гг. руководил Отделением геологических наук Академии наук Узбекистана.

Однако все мы знаем, что Гани Арифханович, живя и работая в Ташкенте, по существу, возглавлял работу всех инженеров-геологов Среднеазиатского региона. Здесь он был лидером, его мнение было чрезвычайно авторитетно. Именно это позволило Г.А. Мавлянову организовать и на высочайшем уровне провести крупнейшие международные и всесоюзные геологические форумы по проблемам как инженерной геологии, так и сейсмологии, сейсмостойкого строительства и по другим геологическим вопросам».

В каждой из названных В.Т. Трофимовым областей науки Г.А. Мавлянов добился успехов. Но все же любимым объектом его научных исследований были лессовые породы. Их изучению были посвящены его кандидатская и докторская диссертации. Позже Гани Арифханович совместно со своими учениками опубликовал



Рис. 8. Привал после полевой экскурсии. Зеленый чай хорошо подкрепляет силы, идет тихая беседа (Г.А. Мавлянов, В.С. Шибакова, Е.Н. Коломенский, водитель, М. Арну, М.Ш. Шерматов — Узбекистан, апрель 1977 г.)





Рис. 9. «Тихий час» после полевой экскурсии (Г.А. Мавлянов и М. Арну – Узбекистан, апрель 1977 г.)

ликовал серии монографических описаний лессовых пород ряда районов Узбекистана (Голодной и Каршинской степей, Ферганской долины и др.), большое количество статей о них, а также серию специальных карт, отражающих особенности пространственного распределения этих пород, имеющих разный генезис, состав, строение и свойства.

Вернемся к воспоминаниям В.Т. Трофимова о Г.А. Мавлянове: «Главные его достижения... с моей точки зрения, можно свести к следующим четырем позициям: (1) однозначно доказана полигенность лессовых пород; (2) введена инженерно-геологическая номенклатура; (3) разработана комплексная методика изучения; (4) составлена подробная инженерно-геологическая, картографическая и монографическая характеристики лессовых пород Узбекистана и Средней Азии в целом. Разработки Г.А. Мавляновым в области методики инженерно-геологического изучения лессовых пород многогранны. Но особое место среди них, с моей точки зрения, занимают две: (1) ...кропотливое описание (совместно с К.П. Пулатовым) и исследование развития процесса просадки при замачивании опытных котлованов в толщах лессовых пород и (2) разработка методики составления специальных инженерно-геологических карт (включая прогнозные), характеризующих пространственные закономерности размещения, строения и изменений состава и свойств лессовых пород. Эти предложения Г.А. Мавлянова были пионерными и широко используются в практике инженерно-геологических работ».

Деятельность Г.А. Мавлянова была обширна и разнообразна, что подтверждает в том числе описание его жизненного пути академиком К.Н. Абдуллабековым: «Г.А. Мавлянов принимает активное участие в правительственных комиссиях, создаваемых для решения наиболее важных хозяйственных проблем. За организацию работ и оригинальность идей при решении сложной задачи, связанной с устранением последствий горного завала на реке Зарафшан в районе кишлака Айни, Г.А. Мавлянов в 1964 г. награжден правительственной наградой — орденом Трудового Красного Знамени.

После Ташкентского землетрясения 26 апреля 1966 г. Г.А. Мавлянов организует рабочую комиссию в составе ведущих специалистов Института гидрогеологии и инженерной геологии для исследования устойчивости разных видов и конструкций зданий и сооружений с

учетом инженерно-геологических условий участков их расположения.

1 октября 1966 г. Г.А. Мавлянов назначается директором Института сейсмологии Академии наук. В 1966—1967 гг. выявлены новые, неизвестные ранее прогностические признаки подготовки тектонических землетрясений — прежде всего аномальные изменения химического и газового состава подземных вод в периоды, предшествующие и сопутствующие землетрясениям. Эти исследования широко признаны не только в нашей стране, но и за ее пределами. В 1973 г. группа ученых во главе с Г.А. Мавляновым получила диплом на научное открытие № 129 «Изменение химического состава подземных вод в период землетрясения». Это было первое в Центральной Азии научное открытие.

Он главный редактор крупной монографии «Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г.». В этом капитальном труде обобщены результаты не только сейсмологических исследований, но и материалы по сейсмостроительству, инженерно-геологическим условиям и восстановлению г. Ташкента.

В 1968–1984 гг. под руководством Г.А. Мавлянова составлены новые карты сейсмического микрорайонирования 26 крупных городов и промышленных объектов. В 1971–1978 гг. под руководством и при непосредственным участии Г.А. Мавлянова составлена новая карта общего сейсмического районирования Узбекистана, явившаяся основой для сейсмостойкого



Рис. 10. Полевая экскурсия завершена. Снимок на память. Слева направо: Е.Н. Коломенский, М. Арну, В.С. Шибанова, Г.А. Мавлянов (Узбекистан, апрель 1977 г.)

строительства в республике. 27 октября 1981 г. группе ученых под руководством Г.А. Мавлянова была присуждена Государственная премия им. Абу Райхана Беруни за цикл работ по созданию научно-методических основ и карт общего сейсмического районирования и микрорайонирования территорий Узбекистана.

Этот период детально описывает К.О. Ланге: «...На моих глазах происходило становление института (сейсмологии. — *Авт.*). Перед Гани Арифхановичем стояла очень сложная задача. Комплексное направление работ института требовало объединения под единым научным руководством квалифицированных специалистов из... различных областей науки. Справиться с этой задачей Гани Арифхановичу помогли блестящие организаторские способности, очень высокое чувство ответственности и, конечно, колоссальная работоспособность. В короткий срок ему удалось создать коллектив специалистов самых разных направлений — сейсмологов, геофизиков, геологов-тектонистов, гидрогеологов, инженеров-геологов... Каждое подразделение выполняло свою работу, подчиняясь единой программе и одному руководителю.

Вся жизнь в городе определялась только что произошедшим землетрясением. Вопросы сейсмической безопасности, проблемы восстановления жилья и обеспечение нормальной жизни в городе, жилищное и промышленное строительство — все имело отношение к институту и его директору. У меня создалось впечатление, что у Гани Арифхановича в этот период не оставалось буквально ни одной свободной минуты с раннего утра до позднего вечера. Помимо многочисленных собственно институтских дел (комплектования кадров, разработки исследовательских программ и руководства их выполнением, строительства первого здания института, бурения скважины в эпицентральной зоне землетрясения) Гани Арифханович принимал самое активное участие в координации деятельности всех ташкентских организаций, занятых изучением проблем, связанных с землетрясением, и, что особенно

важно, в принятии ответственных решений по восстановлению и новому строительству города. Вся страна участвовала в восстановлении Ташкента, сюда прибывали все новые и новые строительные отряды, для работы которых срочно нужно было выделить соответствующие участки с учетом возможной сейсмической опасности».

«При всей своей занятости научной и организационной работой Гани Арифханович широко пропагандировал научные результаты широкому кругу населения, — рассказывал академик К.Н. Абуллабеков. — Им опубликованы научно-популярные брошюры и статьи по различным отраслям наук о Земле, он часто выступал на страницах республиканских газет, журналов, по радио и телевидению».

А вот строки из воспоминаний А.С. Хасанова, многие годы возглавлявшего Институт ГИДРОИНГЕО: «Под руководством и при участии Г.А. Мавлянова создаются научные направления в гидрогеологии: мелиоративная гидрогеология, инженерная сейсмология, сейсмогидрогеология, гидрогеохимия. Созданная Г.А. Мавляновым школа гидрогеологов и инженеров-геологов... решила ряд научных и научно-прикладных задач для народного хозяйства не только Узбекистана, но и... всей Центральной Азии (в сферах мелиорации, водоснабжения, курортологии и др. — *Авт.*)... Г.А. Мавлянов не был кабинетным ученым, все свои исследования он опробовал в полевых условиях — сам непосредственно участвовал при заложении шурфов, канав, в ручном бурении и т.д. Однажды Гани Арифханович взял меня с собой на полевые работы. В районе Жетысая (Казахстан. — *Авт.*)... должны были пустить воду в новый канал. Надо было взять монолиты со дна канала... Я был поражен, увидев, как академик, раздевшись до пояса, ловко крутил ручной бур...».

«Одним из главных достижений мелиоративной инженерной геологии, — писал другой ученик Г.А. Мавлянова — Э.В. Мавлянов, — явилось то, что впервые удалось составить методические рекомендации по про-



Рис. 11. Участники симпозиума МАИГ «Проблемы инженерной геологии в гидротехническом строительстве: в центре в светлом костюме — Л. Мюллер, слева от него — К.О. Морфельд, справа — Р. Волтерс, В.С. Шибаква, Г.А. Мавлянов, Р. Оливейра, В.Я. Степанов (г. Тбилиси, сентябрь 1979 г.)



ведению комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки территории Средней Азии и Южного Казахстана в целях дальнейшей мелиорации применительно к природным условиям региона. Исследования Г.А. Мавлянова и его коллег М.М. Крылова, Н.А. Кансарина, Е.М. Сергеева, Г.А. Голодковской, Л.Г. Бадалова, Д.М. Каца и других позволили установить зависимость между ирригационно-мелиоративным строительством и изменениями геологической среды, развитием гидрогеологических и инженерно-геологических процессов. Стационарное изучение этих изменений составляет основу инженерно-геологических обоснований проектов новых и реконструкции действующих ирригационно-мелиоративных систем».

Большое внимание Г.А. Мавлянов уделял индивидуальной работе со своими учениками. М.Ф. Ачиллов вспоминал: «Эта доброжелательность к людям, независимо от их общественного положения, желание помочь им являлись наиболее примечательной чертой характера Гани Арифхановича. В 1971 г. он стал моим научным руководителем, убедив в том, что необходимо серьезно заняться исследованием закономерностей пространственной изменчивости свойств горных пород с широким применением методов геолого-математического анализа. Чрезвычайно интересным было его научное предвидение того, что это можно использовать для пространственного прогноза физико-механических свойств грунтов, который должен быть положен в основу оценки территории при ее хозяйственном освоении. В дальнейшем, когда я уже был погружен в работу, он помогал мне выбирать среди обилия материалов наиболее актуальные, интересные и значимые. Умение увлечь своего ученика, мобилизовав его, не дать ему уйти в сторону отличало Гани Арифхановича как учителя, руководителя. Свое руководство он осуществлял тактично и незаметно. Свои замечания, советы, рекомендации он делал в чрезвычайно корректной форме, стараясь ничем не задеть достоинство и самолюбие человека. Характерно, что, будучи большим человеком, академиком, он никогда не показывал своего превосходства, со всеми был одинаково прост, благожелателен. И не любить его было нельзя!»

М.Ш. Шерматов писал: «Я работал с Гани Арифхановичем много лет. Многие прекрасные качества учителя открылись мне. И прежде всего такое: он всегда заботился о людях, причем думал не только об их сегодняшних нуждах, но и заглядывая далеко в будущее. Как бы ни было ему самому трудно, он не оставлял своих товарищей, учеников в беде».

Соратники и коллеги ценили то, как Г.А. Мавлянов подходил к научным спорам. Например, Н.И. Кригер отмечал: «Главная его черта — умение выслушать и постигнуть чужую точку зрения, даже если сам с ней не согласен. Гани Арифханович никогда не стремился к единству мнений, считая, что его не должно быть. Разница подходов и взглядов — вещь необходимая. Только так — с разных сторон, различными средствами — можно постичь научную истину во всей ее глубине и богатстве проявлений. Гани Арифханович, если можно так выразиться, был мягким полемистом. Он умел спорить, но не ставил непереносимой целью обратить оппонента в свою веру. Это отнюдь не свидетельствовало о слабости его собственной позиции. Наоборот! Про-



Рис. 12. Встреча в кулуарах симпозиума МАИГ: С. Арну, Г.А. Мавлянов, В.С. Шибакова, М. Арну (г. Тбилиси, сентябрь 1979 г.)

сто, будучи человеком самостоятельных взглядов, он уважал и развивал подобные качества в оппонентах, учениках. Поэтому-то теории Г.А. Мавлянова оказались пластичными, гибкими, изменчиво-устойчивыми, развивающимися. Как истинному ученому, Гани Арифхановичу дороже собственных привязанностей и вкусов была истина».

Н.П. Костенко, в течение полувека проработавшая в Средней Азии, рассказывала: «Последний раз я встретила с Г.А. Мавляновым во время обследования одного из кишлаков, пострадавших от процессов трещинообразования в почве. Сказался неукротимый рост новых горных структур под покровом лессов. Эти структуры проникли в пределы равнины, разрушая не только почву, но и все воздвигнутое на ней. Поздно вечером возвращались в Ташкент. Снова мы вдвоем в автомобиле. Гани Арифханович печален и измотан. Его потрясло горе разоренных семей, вынужденных покинуть свои разрушенные дома, обжитые участки земли. Столько сил и надежд вложено в эту землю — все зря! Гани Арифханович сказал: «Человеку не под силу сдержать рост гор. Это грозный, неодолимый природный процесс. Мой народ живет в горной стране и вынужден соприкоснуться с его последствиями. Трещины, обвалы, землетрясения! Мы должны знать жизнь гор, их аномалии, особенности развития, чтобы выбрать оптимальный вариант градостроения и хозяйственного планирования. Необходим каторжный труд ученых, ибо земные недра недоступны, сложны и коварны. Нужен добрый и светлый ум, талант и широкий кругозор — как у великого Ломоносова. Необходимо воспитать такого ученого, хотя сделать это неимоверно трудно». И я подумала тогда: вся жизнь, вся научная и общественная деятельность Гани Арифхановича Мавляновича была пронизана этой сверхзадачей — «найти и воспитать узбекского Ломоносова».

Далее последуют воспоминания автора этой статьи, на протяжении почти двух десятилетий встречавшейся с Г.А. Мавляновым при совместной работе в Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии на заседаниях, совещаниях, конференциях в разных городах страны и в полевых условиях во время геологических экскурсий по Средней Азии, а также состоявшейся с ним в деловой переписке.

За годы общения с Гани Арифхановичем мне открылись многие замечательные черты его характера — лю-



бовь к науке, к людям, стремление помочь ближнему, дисциплинированность, надежность, смелость, решительность, доброта, скромность, оптимизм. Г.А. Мавлянов был мощной и яркой личностью. Каждая встреча с ним запоминалась, оставляя след в душе. Постараюсь через отдельные эпизоды передать свои воспоминания о нем.

Я прекрасно помню, как мы, члены советской делегации, участники Первого конгресса Международной ассоциации по инженерной геологии (МАИГ), проходившего в в сентябре 1970 г., по окончании заседаний отправлялись гулять по площадям и улицам Парижа. Собирались группой в назначенное время и почти всегда ждали кого-нибудь из опаздывающих, волновались, теряя зря время. При этом четко сохранилось в памяти, что Гани Арифханович ни разу не опоздал, был точен и дисциплинирован. Еще запомнилось, что во время наших прогулок парижанки бросали на него восхищенные взгляды. Богатство природы Г.А. Мавлянова отражалось на его внешности — он был красив, высок, широкоплеч, строен, прекрасно одет. Держался он прямо, ходил легко, его лицо отражало спокойствие и силу. Сразу же притягивали к себе внимание его прекрасные глаза, светящиеся умом и пронизательностью. При этом Гани Арифханович был прост и скромен, что придавало ему особое обаяние. Он оставался красивым долгие годы: держал вес в норме, сохранял прямую осанку, лицо его светилось добротой и радостью, а седина волос только подчеркивала его живые карие глаза.

В Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии Г.А. Мавлянов возглавлял Комиссию сейсмических прогнозов, однако его лидерство и признанный авторитет играли большую роль и при решении вопросов, связанных с лессовыми породами, сейсмическим микрорайонированием, мелиоративной гидрогеологией и многим другим. Он был инициатором создания и организатором региональной секции Научного совета в Средней Азии и Казахстане, которую возглавил его ученик А.С. Хасанов. Эта секция очень активно работала, но о ее деятельности я уже писала в предыдущих статьях, поэтому здесь приведу лишь свои личные воспоминания о встречах с Г.А. Мавляновым.

В ноябре 1975 г. в г. Ташкенте прошло Первое всесоюзное научно-техническое совещание «Инженерно-геологическая основа сейсмического микрорайонирования», организованное Институтом сейсмологии АН УзССР и Проблемной комиссией Научного совета по сейсмическому микрорайонированию. Его оргкомитет возглавлял Г.А. Мавлянов. Тематика совещания была весьма актуальной. Рост масштабов строительства в сейсмоопасных районах страны в те годы ставил новые задачи по качественному выполнению инженерных изысканий. В комплексе исследований, направленных на обоснование строительства в сейсмоопасных районах, одно из важнейших мест заняла такая достаточно молодая область инженерной сейсмологии, как сейсмическое микрорайонирование. Было необходимо вырабатывать простые, пригодные для массового применения способы детальной оценки местных природных факторов, определяющих уровень общей сейсмической опасности того или иного района. В совеща-

нии участвовали представители проектных, изыскательских и научных организаций из всех сейсмоопасных регионов страны, ведущих научно-исследовательских институтов Академий наук СССР и союзных республик. Г.А. Мавляновым были представлены доклады: «О принципах сейсмического микрорайонирования в Узбекистане», «Методика составления карты приращения сейсмической балльности по инженерно-геологическими данным на примере городов Узбекистана», «Структурно-геоморфологические и палеосейсмоморфологические карты для инженерно-геологического и сейсмического районирования Кызылкумов» (совместно с Н.П. Костенко).

В докладах и выступлениях на совещании вырабатывался подход к выделению основных факторов, определяющих сейсмическое микрорайонирование, — структурно-тектонического строения района, геоморфологических особенностей (рельефа местности), литологического состава, мощности и степени влажности верхней рыхлой толщи, расположения уровня грунтовых вод. Был определен рациональный комплекс методов при исследованиях в области сейсмического микрорайонирования: макросейсмическое обследование последствий сильных землетрясений, ведение записей землетрясений, взрывов, микросейсмов, математическое моделирование, методы разведочной геофизики (электроразведочные и сейморазведочные) для уточнения и подтверждения полученных данных. Был определен круг задач, решаемых при инженерно-геологических исследованиях районов при их инженерно-хозяйственном освоении: полученные результаты должны помочь оценить сейсмическую опасность участка (т.е. сейсмическое воздействие ожидаемого землетрясения) и послужить обоснованием для строительства сейсмостойких сооружений. Были определены направления научно-исследовательских работ в области сейсмического микрорайонирования.

Совещание было прекрасно организовано. Кроме того, были проведены технические экскурсии. Запомнился дружный коллектив Института сейсмологии АН УзССР и радушный прием, оказанный участникам совещания. Был выпущен сборник тезисов сделанных на нем докладов. Решения совещания были направлены в заинтересованные организации.

В сентябре 1980 г. в г. Самарканде состоялось Всесоюзное совещание «Проблемы лессовых пород в сейсмоопасных районах», организованное Научным советом совместно с рядом других организаций и собравшее около 400 участников со всей страны. Председателем его оргкомитета вновь был Г.А. Мавлянов, которому тогда было уже 70 лет. После открытия им совещания со вступительным словом к участникам обратился Е.М. Сергеев, председатель Научного совета. Г.А. Мавлянов выступил с генеральным докладом «Достижения советской инженерной геологии в области изучения лессовых пород».

В ходе работы совещания были проанализированы и обсуждены результаты исследований по лессовой тематике, изложенные в 6 основных и 175 стендовых докладах. Оно завершилось научной экскурсией по характерным разрезам лессовых пород в Зерафшанской межгорной впадине и в северных предгорьях Туркестанского хребта. Участники ознакомились со всеми



фациями пролювиальных отложений орогенных зон в пределах Самаркандского района — от валунно-галечных образований (руслевой и веерной фаций) до лессовых пород (застойной фации), а также с серией различных погребенных почв. Эту экскурсию возглавлял Г.А. Мавлянов. В качестве гостя в ней принял участие его фронтовой друг полковник в отставке Н.А. Жуков. Единомышленники и оппоненты, маститые ученые, признанные специалисты и молодые аспиранты общались друг с другом на обнажениях, беседовали, жарко дискутировали. По окончании экскурсии всех ожидал сюрприз: автобусы доставили участников на территорию летнего пионерского лагеря, где под открытым небом стояли накрытые столы с праздничными угощениями — знаменитым узбекским пловом, зеленым чаем, восточными сладостями, пряностями, фруктами, соками домашнего приготовления. Все участники были приглашены к столу отпраздновать семидесятилетие академика Гани Арифхановича Мавлянова. Места хватило всем. Застолье возглавляли Г.А. Мавлянов, Е.М. Сергеев и Н.А. Жуков. Ярко светило нежгущее сентябрьское солнце, Гани Арифханович был радостен и счастлив, он сердечно принимал своих друзей, соратников, учеников, оппонентов, коллег. Во время застолья не было привычной церемонии поднятия тостов (Г.А. Мавлянов не употреблял спиртного всю свою жизнь), но при этом царила «самая большая роскошь на земле — роскошь человеческого общения».

Ранней весной 1977 г. г. Ташкент посетил профессор Высшей горной школы Франции (г. Париж) и президент МАИГ М. Арну в качестве гостя Научного совета. Его сопровождали Е.Н. Коломенский и автор этих строк. М. Арну ознакомился с геологией Ташкента и Приташкентского района. Г.А. Мавлянов провел для него однодневную экскурсию по массивам лессовых и лессовидных пород Приташкентского района, показав ему несколько разрезов этих пород, отличающихся по своему строению, мощности и свойствам и обладающих различными генезисом и просадочными свойствами. В качестве переводчика выступал Е.Н. Коломенский.

М. Арну проявил большой интерес к предмету этой экскурсии: объяснения Г.А. Мавлянова он записывал в свой блокнот, задавал уточняющие вопросы, делал много фотоснимков. Он был потрясен показанными ему уникальными геологическими объектами и с большим интересом воспринял теорию Г.А. Мавлянова о полигенности лессовых пород Узбекистана. М. Арну сообщил, что будет использовать материалы, полученные им во время экскурсии, в своих лекциях.

Экскурсия завершилась привалом. Ученики Г.А. Мавлянова М.Ш. Шерматов и Х.Л. Рахматуллаев заранее разбили стоянку, поставили походный столик и стулья, приготовили зеленый чай, разложили домашнюю снедь, зелень — и началась трапеза, сопровождаемая теплой беседой. Г.А. Мавлянов рассказывал о других, расположенных дальше от Ташкента, уникальных лессовых разрезах, мощность которых превышает 100 м, которые не удалось посетить в связи с ограниченным временем визита М. Арну.

Поскольку чувствовалось, что за время напряженного маршрута экскурсии М. Арну физически устал, Гани Арифханович предложил устроить «тихий час». На кошке, расстеленной прямо на траве, улеглись Г.А.



Рис. 13. Экскурсия по лессовым обнажениям после Всесоюзного совещания «Проблемы лессовых пород в сейсмоопасных зонах» (Е.М. Сергеев, Г.А. Мавлянов, Н.А. Жуков — г. Самарканд, сентябрь 1980 г.)

Мавлянов и М. Арну. Вскоре оба они крепко уснули. Е.Н. Коломенский сделал фотографию на память, и мы тихо беседовали, чтобы не разбудить спящих.

Визит М. Арну поспособствовал знакомству западных специалистов с уникальными разрезами лессовых пород Узбекистана, работами Г.А. Мавлянова и его учеников: в последующие годы с визитами к нему приезжали лидеры МАИГ — генеральный секретарь ассоциации Р. Волтерс, ее президенты М. Лангер и О. Вайт, В. Дирман, Х. Видал. Сопровождая их в этих поездках, я имела счастье вновь встречаться с Гани Арифхановичем.

Весной 1978 г. Г.А. Мавлянов принимал генерального секретаря МАИГ доктора Р. Волтерса. Программа этого визита была обширной: чтение лекции в Институте сейсмологии АН УзССР, ознакомление с материалами Ташкентского землетрясения 1966 г. и с вопросами сейсмостойкого строительства, посещение города Чирчик и Чарвакской ГЭС. Кроме того, Г.А. Мавлянов запланировал для высокого гостя поездку на уникальный разрез лессов, расположенный в приграничном с соседней республикой районе. Когда настал намеченный день поездки, выяснилось, что еще не поступило разрешение на его посещение иностранным гостем.



Рис. 14. В процессе работы над международной монографией «Engineering Geology of the Earth»: Г.А. Мавлянов, Х.Р. Рахратуялаев, В.С. Шibaкова, сотрудник Института сейсмологии АН УзССР, В. Дирман (г. Ташкент, май 1986 г.)



Я с беспокойством спросила Гани Арифхановича: «Что делать? Как долго надо ждать?» Он спокойно ответил: «Когда разрешение придет, Волтерс будет уже в ФРГ». Г.А. Мавлянов лично на своем узике привез Р. Волтерса по бездорожью на этот отдаленный разрез. Это была поистине впечатляющая картина: в довольно равнинной, слегка всхолмленной местности — отвесная стена лесса желтовато-палевого цвета высотой более 100 м на фоне ярко-голубого неба.

Г.А. Мавлянов провел экскурсию по этому обнажению. Он рассказывал о процессе лессообразования — о диагенетических и гипергенетических условиях формирования лессовых пород с формированием их структурно-текстурных особенностей, о возникновении, проявлении и деградации их просадочных свойств. Он показал горизонты погребенных почв, отметил, что их формирование тесно связано с естественно-историческими условиями Узбекистана, с характером и циклами неоген-четвертичных тектонических движений, а значит, с этапностью и прерывистостью процесса лессонакопления. Гани Арифханович особо подчеркнул, что с мощностью и условиями залегания погребенных почвенных горизонтов связаны интенсивность и глубина проявления процесса просадки. Р. Волтерс, геолог высокого класса, внимательно слушал все объяснения. Он осматривал все детали разреза, карабкался на верхние горизонты погребенных почв, делал фотографии. Экскурсия длилась несколько часов.

На обратном пути Г.А. Мавлянов и Р. Волтерс беседовали о важности сохранения естественного облика территорий распространения лессовых пород, о необходимости выявления лессовых памятников природы и их охраны. Г.А. Мавлянов рассказывал о сейсмическом микрорайонировании территорий крупных городов Узбекистана и о том, что в последние годы в Узбекистане начата разработка нового научного направления — исследований сейсмических свойств лессовых пород. Вернулись мы в Ташкент уже к ночи, но усталости не чувствовалось — у всех наблюдался душевный подъем. Р. Волтерс был потрясен и разрезом, и экскурсией, и личностью Г.А. Мавлянова.

Здесь хотелось бы отметить, что и Ричард Волтерс, и Гани Мавлянов были участниками Второй мировой войны и воевали за страны, которые были врагами. Оба они пострадали на той войне: Р. Волтерс был тяжело ранен в 1940 г. в Югославии, а Г.А. Мавлянов был тяжело контужен в 1945 г. в Курляндии. Они одновременно приступили к научной работе: Р. Волтерс — в ФРГ, Г.А. Мавлянов — в Узбекистане. Г.А. Мавлянов стал академиком, доктор Р. Волтерс в 1972 г. был избран генеральным секретарем МАИГ и очень активно развивал международное сотрудничество инженеров-геологов всего мира. И при встрече эти два выдающихся деятеля инженерной геологии, две яркие личности нашли глубокое взаимопонимание вопреки всем каверзам истории. Позднее Р. Волтерс готовил большую публикацию о своих визитах в Советский Союз, в частности о встречах с Г.А. Мавляновым, но его внезапная кончина в марте 1981 г. оборвала эти планы.

Мое общение с Г.А. Мавляновым в 1984–1986 гг. было связано с подготовкой международной монографии «Engineering Geology of the Earth» — «Инженерная геология Земли» (о подготовке этой работы мною

было подробно написано ранее), в которой Гани Арифханович был основным автором главы 5 «Аридные регионы». Все мы с нетерпением ждали выхода этой книги. Она была опубликована в 1989 г., но, к сожалению, имя Г.А. Мавлянова среди других имен ее авторов уже стояло в траурной рамке. Г.А. Мавлянов скончался 12 марта 1988 г. Он работал до последнего дня своей жизни.

Светлая память о Гани Арифхановиче, ученом и человеке, живет в сердцах его потомков, учеников, соратников, коллег. Его идеи продолжают развиваться. В 1998 г. была опубликована в виде монографии докторская диссертация М.Ф. Ачилова «Теория, методология и практика оценки качества и экономической эффективности инженерно-геологических исследований» со следующими словами на титульном листе: «Светлой памяти дорогого учителя, организатора инженерно-геологической науки и производства в Узбекистане академика Гани Арифхановича Мавлянова посвящается настоящий труд». В 2009 г. вышла в свет монография Р.А. Ниязова «Оползни Узбекистана (тенденции развития на рубеже XXI века)» с такими словами в ее начале: «Посвящается 100-летию со дня рождения моего научного руководителя академика Академии наук Республики Узбекистан Гани Арифхановича Мавлянова». В 2010 году был опубликован труд «Атлас лессовых пород Узбекистана», автор-составитель которого Х.Р. Рахматуллаев также выполнил его в память о своем учителе Г.А. Мавлянове. Институту сейсмологии АН УзССР в 1990 г. по постановлению Правительства Узбекистана было присвоено имя академика Гани Арифхановича Мавлянова.

Закончить эту статью мне хотелось бы словами одного из ведущих инженеров-геологов России Виктора Титовича Трофимова: «Академик Г.А. Мавлянов оставил нам в дар не только свои научные работы, но и теплую память о себе. Я вспоминаю встречи и беседы с Гани Арифхановичем с убеждением, что мне повезло в жизни. Беседы с ним, которые он вел простым языком в чрезвычайно уважительной форме, были столь же информативны, как и его научные достижения. Инженерной геологии повезло — Г.А. Мавлянов обогатил ее своими пионерными разработками. Повезло и нам, знавшим его и развивающим предложенные им новые подходы. Повезло и будущим поколениям инженеров-геологов — они смогут читать труды академика Г.А. Мавлянова, часть из которых, несомненно, вошла в инженерно-геологическую классику».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробанова И.Г. Инженерно-геологическое изучение горных пород в Лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР. Москва: Изд-во МГУ, 2004. С. 35.
2. Мавлянов Гани Арифханович: сборник статей / под ред. К.Н. Абдуллабекова. Ташкент: MUMTOZ SO'Z, 2010. С. 230.
3. Шибаква В.С. Из истории деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии: связи внутри страны и за рубежом // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 8–16.
4. Шибаква В.С. О деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии (1980–1985 гг.) // Инженерная геология. 2010. № 1. С. 8–16.

# МИГРАЦИОННЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: ЮЖНЫЙ И СЕВЕРНЫЙ ПРЕДЕЛЫ АРЕАЛА И СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА PALSAS IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA: THE SOUTHERN AND NORTHERN LIMITS OF THE AREAL AND THE MODERN DYNAMICS

**ВАСИЛЬЧУК Ю.К.**

Профессор географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., действительный член Российской академии естественных наук, vasilch@geol.msu.ru

**ВАСИЛЬЧУК А.К.**

Старший научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, д.г.н.

**БУДАНЦЕВА Н.А.**

Старший научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, к.г.н.

**ЧИЖОВА Ю.Н.**

Старший научный сотрудник географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, к.г.н.

**VASILCHUK Yu.K.**

A professor of the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geology and Mineralogy), member of the Russian Academy of Natural Sciences, vasilch@geol.msu.ru

**VASILCHUK A.K.**

A senior staff scientist of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, doctor of science (Geography)

**BUDANTSEVA N.A.**

A senior staff scientist of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, PhD (Geography)

**CHIZHOVA Ju.N.**

A senior staff scientist of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, PhD (Geography)

**Ключевые слова:**

миграционные бугры пучения; Западная Сибирь; Северная Азия; Северная Америка.

**Key words:**

palsa; Western Siberia; Northern Asia; North America.

**Аннотация**

**В статье показаны геокриологические опасности, проявляющиеся при проложении магистральных трубопроводов через массивы выпуклых бугров пучения (пальза). Дан обзор результатов исследования и датировки по <sup>14</sup>C миграционных бугров пучения на многолетнемерзлых торфяных массивах Западной Сибири. Рассмотрены южный и северный пределы их ареала и их современная динамика в данном регионе.**

**Введение**

Морозное (криогенное) пучение согласно СП 11-105-97 определяется как процесс, вызванный промерзанием грунта, миграцией влаги, образованием ледяных прослоев, деформацией скелета, приводящими к увеличению объема грунта, поднятию дневной поверхности. Пучинистость — одно из наиболее широко распространенных явлений в криолитозоне и даже вне ее в пределах территорий сезонного промерзания, где она часто связана с сегрегационным льдовыделением в деятельном слое зимой. В связи с этим можно говорить о почти повсеместном в пределах России развитии сегрегационного льдообразования и, следовательно, повсеместном проявлении процесса пучения.

Интенсивность пучения связана с количеством влаги, мигрировавшей в зону промерзания, и скоростью промерзания. Особенно заметно пучение проявляется при длительном периоде медленного снижения температуры (при отрицательных температурах не ниже  $-0,3 \div -0,5$  °C), достаточного для формирования кристаллов льда, которые повышают объем замерзающей воды, а следовательно, и грунта на 9–11%, отрицательных температурах поверхности грунта в осенне-зимний период, присутствии влаги, особенно гравитационной, в промерзающих породах и, разумеется, при наличии пучинистых грунтов. Сочетание этих факторов характерно для северной части Западно-Сибирской низменности, поэтому распространение бугров пучения (пальза) в этом регионе является весьма широким (рис. 1, 2).

**Abstract**

**Geocryological hazards for pipe lines in palsa areas are shown. The results of investigations and <sup>14</sup>C-dating of palsas on permafrost peat massives in the north of Western Siberia are reviewed. The southern and northern limits of their areal and their modern dynamics in this region are considered.**



Сосредоточение месторождений нефти и газа в северных районах Сибири обуславливает необходимость строительства надежных трубопроводов в неблагоприятных грунтовых условиях. Большая протяженность этих линейных объектов ведет к тому, что они неизбежно пересекают участки с различными мерзлотно-грунтовыми условиями, в т.ч. и области развития бугров пучения. На севере Западной Сибири примерно 25% трубопроводов приходится на участки с палъза, а грунты с пучинистыми свойствами встречаются более чем на 60% площади, отводимой под строительство трубопроводов [7].

При образовании палъза значение неравномерности площадного пучения возрастает с 3–4 до 30–40% и более. При этом многолетние бугры пучения являются одной из самых распространенных форм мерзлотного рельефа. Поэтому при выборе трасс трубопроводов необходимо учитывать особенности процесса пучения в целом и особенности палъза в частности.

### **Влияние пучения на строительство и эксплуатацию трубопроводов**

Строительство и эксплуатация магистральных трубопроводов в пределах криолитозоны приводят к трансформации геокриологических процессов, развивающихся как в зонах непосредственного взаимодействия с ними, так и на прилегающих к ним территориях. Возникает сложное механическое и тепловое взаимодействие собственно трубопроводов с геологической и гидрогеологической средой на многолетнемерзлых грунтах и заболоченных территориях. Часто происходит нарушение динамического равновесия, сопровождающееся активизацией опасных природных процессов с их негативным влиянием на техническое состояние трубопроводов, нередко приводящим к аварийным ситуациям.

Особенно подвержены процессам пучения газопроводы, которые относятся к теплым (со средней температурой газа  $T_{cp} > 0$  °C) и холодным ( $T_{cp} < 0$  °C) трубопроводам. Это, например, подтвердил крупномасштабный натурный эксперимент, поставленный совместно французскими и канадскими исследователями в Каннах (Франция). Он включал изучение промерзания грунта вокруг специально созданного холодного трубопровода, который пересекал два вида грунта, один из которых (каннская глина) был сильнопучинистым. В течение всего периода эксперимента, который длился 358 дней, происходили промерзание и пучение грунта. Уже через три месяца мощность слоя каннской глины увеличилась на 10%, а через год — на 18–27%. В результате этого в экспериментальном трубопроводе возникли опасные напряжения на границе между пучинистым и непучинистым грунтами [7].

При перекачке холодного газа промерзанию подвергаются и изначально талые, и многолетнемерзлые грунты, что также приводит к неблагоприятным воздействиям на трубопровод. Например, трубопровод Бованенково — Байдарацкая Губа — Ухта проходит по многолетнемерзлым грунтам с температурой минус 6–7 °C. Водонасыщенность грунтов доходит до 80%, льдистость составляет 15–30%. Помимо мест с буграми пучения трасса пересекает участки с пластовыми



Рис. 1. Палъза у пос. Корылькы (фото Е.Н. Оспенникова)



Рис. 2. Палъза у г. Ноябрьска (фото Ф. Танненбергер)

залежами льда и криопэгами, а также большое число рек и ручьев, впадающих в Карское море. Поскольку газ по полуострову планируется транспортировать охлажденным до отрицательных температур, большую сложность представляет обеспечение устойчивости положения «холодного» газопровода в таликах, а также при пересечении им русел рек. Очевидно, что при отрицательной температуре газа начнется процесс промерзания грунтов, который будет сопровождаться процессами пучения.

На западносибирских газопроводах, функционирующих уже десятки лет, отмечаются участки со сформировавшимися вдоль них ледяными телами, которые сдвигают трубопроводы с проектного положения, несмотря на пригрузки. Такая ситуация наблюдается, например, на газопроводе Ямбург — Ныда, где участков с образовавшимися буграми насчитывается более 600.

На газопроводе Надым — Пунга вдольтрассовое формирование бугров пучения также привело к нарушению положения трубопровода. В долине реки Пунга вблизи подножия палъза (рис. 3), где проходит газопровод, в течение 7 лет его эксплуатации образовалась чаша оттаивания глубиной около 6 м. Кровля многолетнемерзлых пород как в пределах бугра пучения, так и на окружающем его участке расположена на глубине



0,3 м. Под торфом вскрыто чередование суглинков, песков и глин. Суммарная влажность ( $W_c$ ) торфа на вершине бугра — 45%, подстилающих минеральных грунтов — от 30 до 80% (максимальные значения характерны для глин, минимальные — для песков).

В грунтах у подножия бугра и на некотором расстоянии от него (см. скв. 2, 6 на рис. 3) отмечен несколько другой характер распределения влажности. Вблизи бугра ее максимальные значения (80%) отмечены в суглинке. Влажность грунтов, вскрытых скважиной 6, — не более 30%. Правильное расположение трубопровода в данном случае не привело к отклонению от проектного положения на второй год эксплуатации.

По результатам мониторинга, выполнявшегося Ю.Л. Шуром, В.Л. Невечерей, Н.Г. Москаленко [17] и О.Е. Пономаревой [19] в разные годы, установлено, что на этом же газопроводе за 24 года (с 1980 по 2004 г.) вдоль трубопровода произошел общий подъем поверх-

ности в среднем на 18 см по сравнению с положением на 1980 г.

Наблюдения по профилю «14 км» (рис. 4) показали, что в развитии поверхности можно выделить 3 этапа: (1) 1972–1974 гг. — период просадки поверхности, наступивший после строительства; (2) 1975–1991 гг. — период медленного подъема поверхности; (3) с 1992 г. — период стабилизации. В течение первого периода просадки поверхности составили в среднем 104 см. Максимальная просадка была равна 134 см, минимальная — 70 см (см. рис. 4). Медленное пучение в течение второго периода привело к подъему поверхности в среднем на 29 см, который не компенсировал произошедшую ранее осадку. В течение третьего периода подъем поверхности составил в среднем 21 см, однако компенсации первоначальной просадки так и не произошло. К настоящему времени максимальная просадка поверхности относительно ее положения в 1971 г.

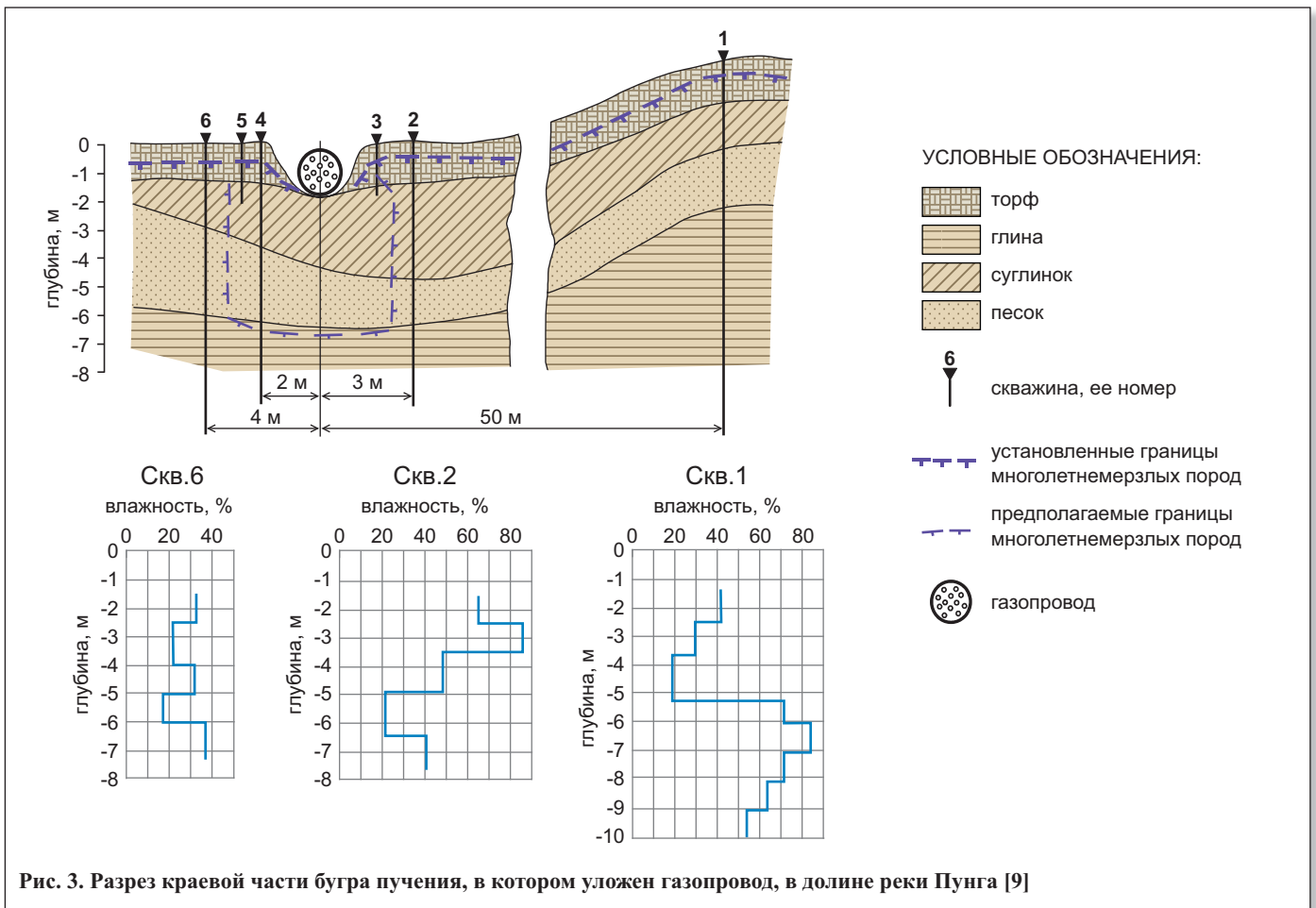


Рис. 3. Разрез краевой части бугра пучения, в котором уложен газопровод, в долине реки Пунга [9]

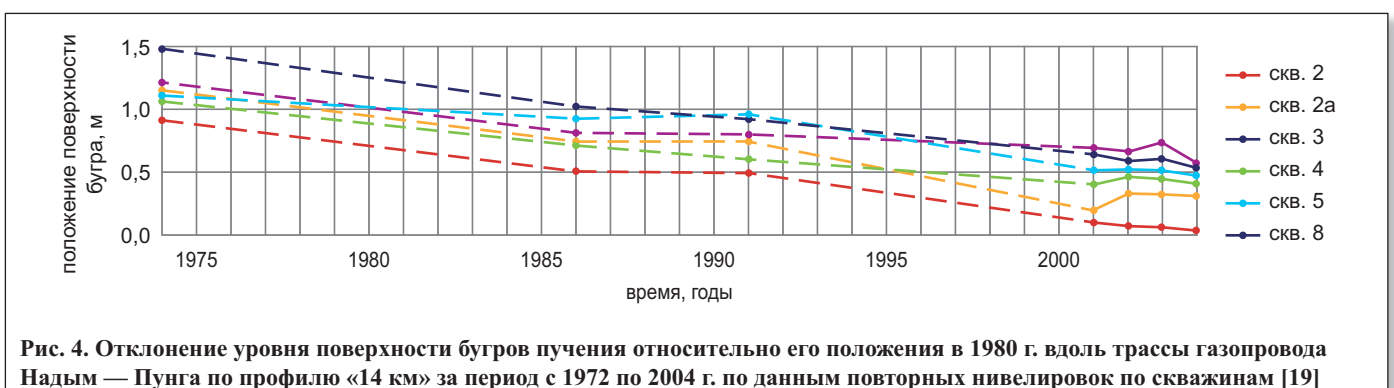


Рис. 4. Отклонение уровня поверхности бугров пучения относительно его положения в 1980 г. вдоль трассы газопровода Надым — Пунга по профилю «14 км» за период с 1972 по 2004 г. по данным повторных нивелировок по скважинам [19]



составляет 75 см у скважины 5, а минимальная — 27 см у скважины 2а [19].

За 32 года со времени укладки трубопровода поверхность испытала проседание, подъем, стабилизацию, оставаясь ниже исходного уровня в среднем на 54 см. Интенсивность просадок убывает по мере удаления от трубопровода, но не достигает нулевых значений даже на расстоянии 50 м от его оси. На ненарушенных участках близ профилей 1–1 и «14 км» наблюдается рост бугорков пучения, возникших 3 и 30 лет назад. Их максимальная высота достигла 75 см.

Мониторинг поверхности бугров пучения вдоль трассы газопровода Надым — Пунга показал, что в современных условиях северной тайги в Западной Сибири на участках с высокотемпературными многолетнемерзлыми породами, несмотря на потепление климата и снятие растительного покрова, продолжается рост уже существующих бугров пучения на участках, окруженных обводненными ложбинами стока. Зафиксировано образование новых бугров на ненарушенных территориях.

В этом же районе в условиях отсутствия обводненных ложбин происходит частичная деградация бугров пучения, на которых растительный покров был уничтожен в процессе строительства газопровода. Максимальная осадка на деградирующих буграх происходила в течение первых двух лет после строительства и составила более 1 м. По мере зарастания поверхности просевшие участки постепенно начали подниматься, но за 32 года их отметки так и не достигли прежних значений. В 2005 г. после замены трубы и отсыпки новой насыпи профиль приобрел иной характер и в дальнейшем, по прогнозу Н.Г. Москаленко и др. [17], здесь

можно ожидать активизации просадок, которые вскоре вновь сменятся пучением.

В этом районе были проведены исследования изменений бугристого рельефа на основании повторного картографирования его форм по аэрофотоснимкам разных лет и данным наземных маршрутных работ, проводимых с интервалом 3–5 лет. Сравнение двух разновременных карт, 1970 и 2005 гг., по Надымскому стационару с использованием аэроснимков разных лет показало лишь незначительное изменение общей площади массивов пальза с кедрово-лиственничными багульниково-лишайниковыми рединами на торфяно-подзолистых почвах. Сравнение контуров участков, занятых пальза, не дало оснований говорить о сокращении их площади даже в приконтактной с газопроводом зоне. При этом здесь же, на нарушенных болотных массивах, к 1988 г., через 18 лет после сооружения газопровода, кое-где появились небольшие бугры и участки пучения высотой до 1 м [17, 19].

Укажем и на такой потенциально опасный процесс, как образование бугров пучения на дне морей при охлаждающем влиянии газопроводов. Необходимо особо подчеркнуть, что промерзающие под действием охлаждающей газовой трубы первоначально талые донные отложения, например, на Балтике, практически по всем показателям идентичны современным мерзлым донным грунтам Баренцева и Печорского морей. Известно, что на Печорском шельфе на глубинах до 50–70 м обнаруживаются гидроакколиты с ледяными ядрами вблизи донной поверхности. На сейсмо- и эхogramмах они похожи на конусообразные холмы высотой от 3–5 до 12 м и шириной в основании до 120–140 м. Расстояние между ними — 300–400 м. В Карском море (на Русановской площади) такие же холмы встречены



Рис. 5. Подтопление трассы «горячего» трубопровода при ее прохождении через массив многолетнемерзлых выпуклых бугров пучения (пальза) в лесотундровой зоне Западной Сибири (Пур-Тазовское междуречье, близ р. Туймылькы (фото из архива ОАО «ВНИИСТ»))

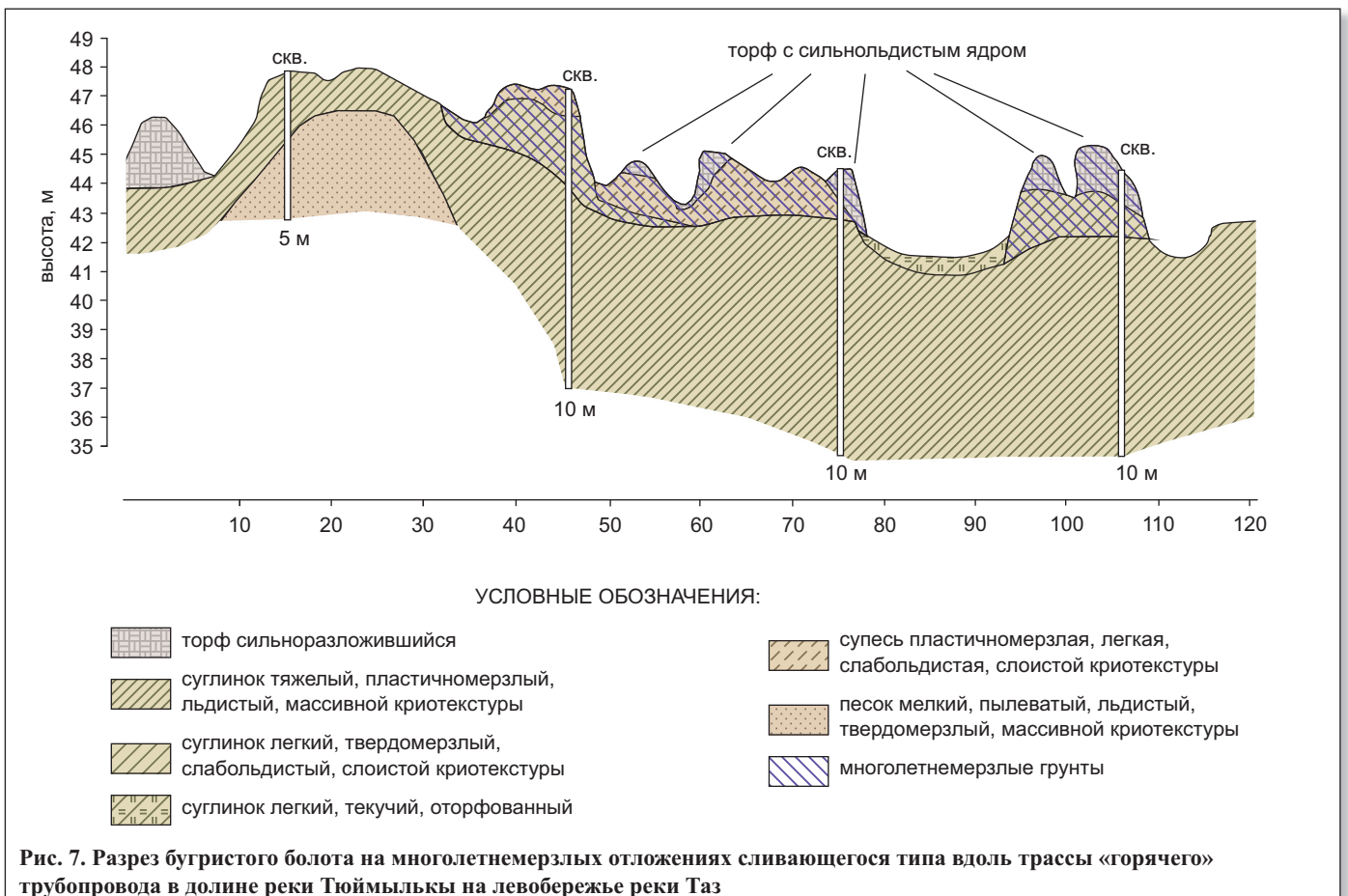


**Рис. 6.** Подтопление трассы «горячего» трубопровода при прохождении массива многолетнемерзлых выпуклых бугров пучения в лесотундровой зоне Западной Сибири (Пур-Тазовское междуречье, близ р. Айваседа-Пур). Вдоль трассы наблюдаются как непротаявшие, так и протаявшие бугры (фото из архива ОАО «ВНИИСТ»)

на глубинах 80–150 м. По мнению В.П. Мельникова и В.И. Спесивцева [16], эти холмы — следствие современных криогенных процессов пучения водонасыщенного грунта, промерзающего в субаквальных условиях. Такие же холмы высотой до 30 м на дне моря Бофорта,

приуроченные к глубинам не более 70 м, по мнению исследовавших их Дж. Шерера с соавторами [26], также являются результатом пучения.

«Горячие» трубопроводы при их прокладке через области развития пальца таже подвергаются трансфор-



**Рис. 7.** Разрез бугристого болота на многолетнемерзлых отложениях сливающегося типа вдоль трассы «горячего» трубопровода в долине реки Туймылькы на левобережье реки Таз



мациям под воздействием изменений, связанных с протаиванием бугров и площадей пучения (рис. 5–9). В данном случае основная проблема состоит не в росте бугров и пучении, а в их неравномерном протаивании.

Процессы пучения сказываются на состоянии «горячего» нефтепровода в нескольких аспектах. Поскольку сам трубопровод имеет высокую температуру, процесс пучения в непосредственной близости от него практически не проявляется (он проявляется только в исключительных случаях, зимой, если грунты обратной засыпки являются сильнопучинистыми). Однако по мере удаления от нефтепровода сначала наблюдается протаивание отдельных бугров пучения, а далее — формирование новых (см. рис. 5, 6).

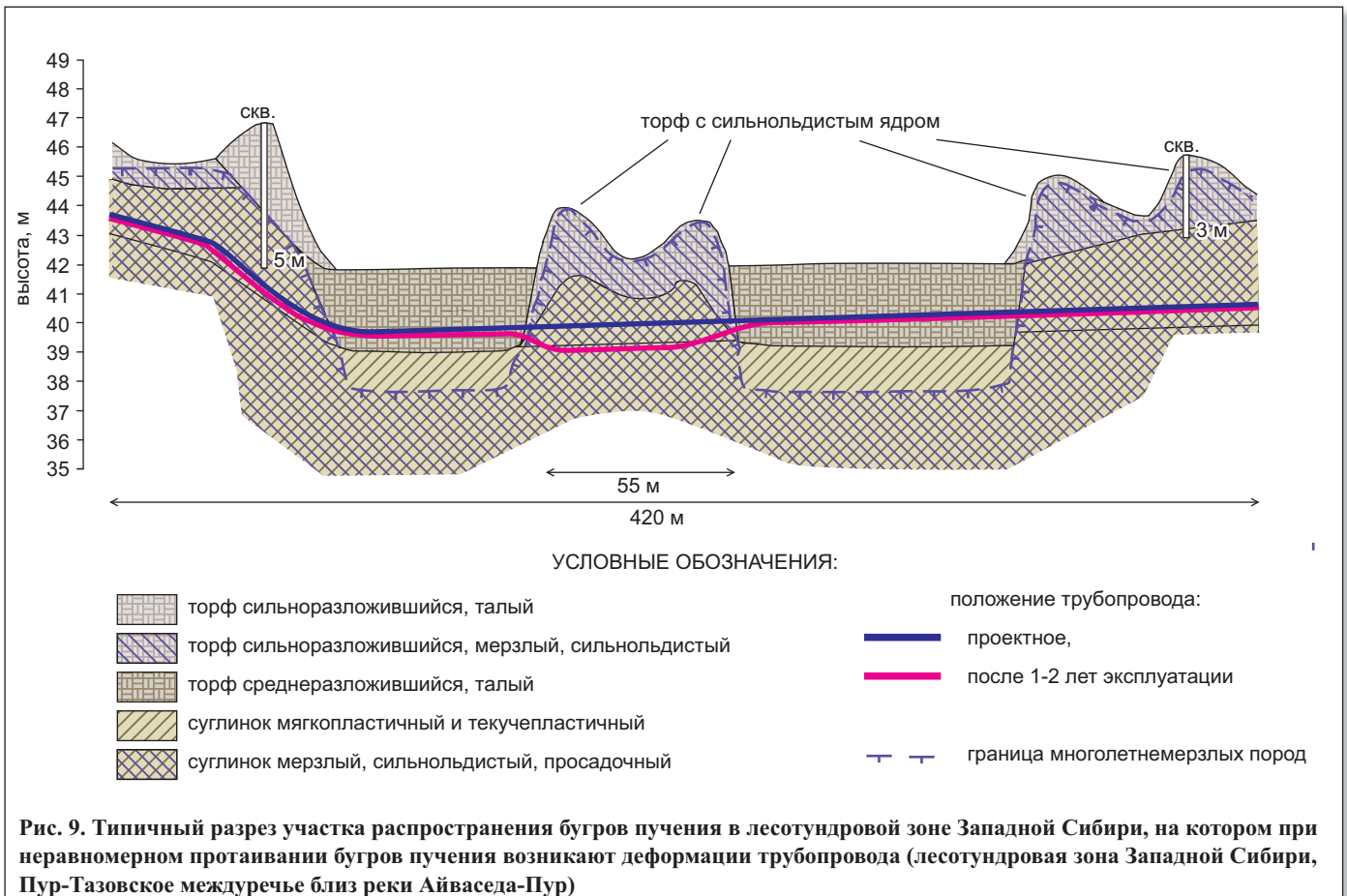
При протаивании сильнольдистых ядер бугров и площадей пучения образовавшаяся вода стекает к нефтепроводу и приводит к подтоплению его трассы. Неравномерность изменения земной поверхности в результате сезонного пучения грунтов с выраженными пучинистыми свойствами, а также формирование сезонных и многолетних бугров пучения ведут к перераспределению стока талых вод во время снеготаяния. Это также приводит к подтоплению трассы, несмотря на меры по регулировке стока, поскольку его направление изменяется.

Типичный участок перехода нефтепровода через область развития бугров пучения характеризуется активизацией деструктурирующих мерзлотных процессов (термокарста, солифлюкции, термоэрозии). Их следствием являются просадка протаивающих грунтов, всплывание отдельных участков трубопроводов, обводнение и заболачивание трассы трубопровода (см. рис. 7).



**Рис. 8. Проявления термокарста вдоль трассы «горячего» нефтепровода. Термокарстовые воронки, отмеченные на месте протаявших бугров пучения, маркируют боковую границу ореола протаивания вдоль трассы (лесотундровая зона Западной Сибири, Пур-Тазовское междуречье близ реки Айваседа-Пур) (фото из архива ОАО «ВНИИСТ»)**

Особенно важно, что в зонах прерывистого распространения многолетнемерзлых пород бугры и площади пучения чередуются с понижениями, сложенными тальными грунтами. Так, в пределах массивов единичных бугров или групп бугров, имеющих линейный размер от 25 до 150 м (см. рис. 8), возникает опасность неконтролируемого изменения изгиба трубопровода: при протаивании льдистых участков небольшого размера вдоль «горячего» трубопровода возникает его неравномерное провисание, которое приводит к его переходу



**Рис. 9. Типичный разрез участка распространения бугров пучения в лесотундровой зоне Западной Сибири, на котором при неравномерном протаивании бугров пучения возникают деформации трубопровода (лесотундровая зона Западной Сибири, Пур-Тазовское междуречье близ реки Айваседа-Пур)**

в напряженное состояние (см. рис. 9). Это связано с тем, что грунты мерзлого массива играют роль несущего основания, в то время как талые грунты пониженный обладают слабыми несущими свойствами.

При недостаточной термоизоляции и в отсутствие сезонных охлаждающих устройств «горячий» нефтепровод с температурой нефти от 20–50 °С вызывает растепление сильнольдистых грунтов и просадку согласно натурным наблюдениям на подземных участках трубопроводов, проложенных для перекачки нефти с Ванкорского месторождения, которые пересекают участки развития бугров пучения в пределах зоны островного распространения многолетнемерзлых пород. Показательно, что именно на участках развития палея происходит наибольшее снижение температуры перекачиваемого продукта, что свидетельствует о значительных теплопотерях. Преобладающая температура многолетнемерзлых грунтов здесь составляет от 0 до минус 0,5 °С. Многолетнемерзлые породы (ММП) приурочены почти исключительно к торфяникам и водонасыщенным песчано-глинистым грунтам. Криогенное строение ММП характеризуется в основном массивной криогенной текстурой. Супеси и суглинки в ядрах бугров пучения имеют слоистую и слоисто-сетчатую криогенную текстуру. Суммарная влажность пылеватых и мелких песков составляет 11–30%. Суммарная влажность песков средней крупности равна 18–25%. Лыдистость суглинков и супесей составляет от 0,09–0,14 д.ед. для слабольдистых до 0,20–0,35 д.ед. для лыдистых в ядрах бугров пучения. Торф здесь сильнольдистый и очень сильнольдистый (имеет лыдистость более 0,4). Суммарная влажность торфа колеблется в пределах 100–600%. Преобладают атакситовые, порфириовидные и массивные криогенные текстуры. По температурному режиму в соответствии с таблицей Б30 ГОСТ 25100-95 песчаные грунты относятся к твердомерзлым, глинистые — к пластичномерзлым.

При инженерных изысканиях под магистральные трубопроводы бугристые болота часто изучаются недостаточно, хотя и в рамках нормативных документов. Для того чтобы адекватно оценить, как будут взаимодействовать ландшафты бугристых болот с «горячим» трубопроводом, и определить его опти-

мальное расположение, необходимы опережающие геофизические изыскания, которые позволят проанализировать локализацию сильнольдистых ядер бугров пучения и провести последующие инженерно-геологические изыскания с подробным изучением многолетнемерзлых участков.

Важно, что при деградации мерзлых пород пучиноопасность грунтов усиливается. Так, по данным Д.Д. Шестернева [24], на 60% территории Читино-Ингодинской впадины грунты из категории пучинистых перешли в категорию сильнопучинистых и чрезмернопучинистых, если сравнивать свойства грунтов в периоды до начала потепления климата (1890–1960 гг.) и во время него (1960–2002 гг.). Максимальные изменения пучиноопасности грунтов произошли там, где суглинистые породы сезонного оттаивания перешли в сезонномерзлые породы в связи с формированием мерзлых толщ несливающегося типа или полным оттаиванием многолетнемерзлых пород.

Среди характеристик бугров пучения для строительства линейных объектов особенно значимы: (1) распространение (южный и северный пределы ареала); (2) лыдистость; (3) динамика роста; (4) цикличность роста и протаивания.

### Южный предел распространения палея

#### Приобье

В южных районах криолитозоны с температурой грунта до минус 0,5 °С бугры пучения были исследованы Ю.К. Васильчуком в июле 1976 г. в районе поселка Азовы (64°53' с.ш., 65°03' в.д.) — на поверхности первой надпойменной террасы в низовьях реки Обь. Было пробурено более десятка 10-метровых скважин с отбором кернов и температурными измерениями [5, 6]. Здесь были описаны весьма крупные бугры высотой до 7–8 м, покрытые мощным слоем торфа, с поверхности поросшие редкостойным лесом (березово-кедровым, с полярной ивой и карликовой березой в кустарниковом ярусе) с почти повсеместно развитой мощной, более 10 см, подушкой из сфагнового мха.

Климатические особенности данного района характеризуются довольно холодными зимами (в среднем

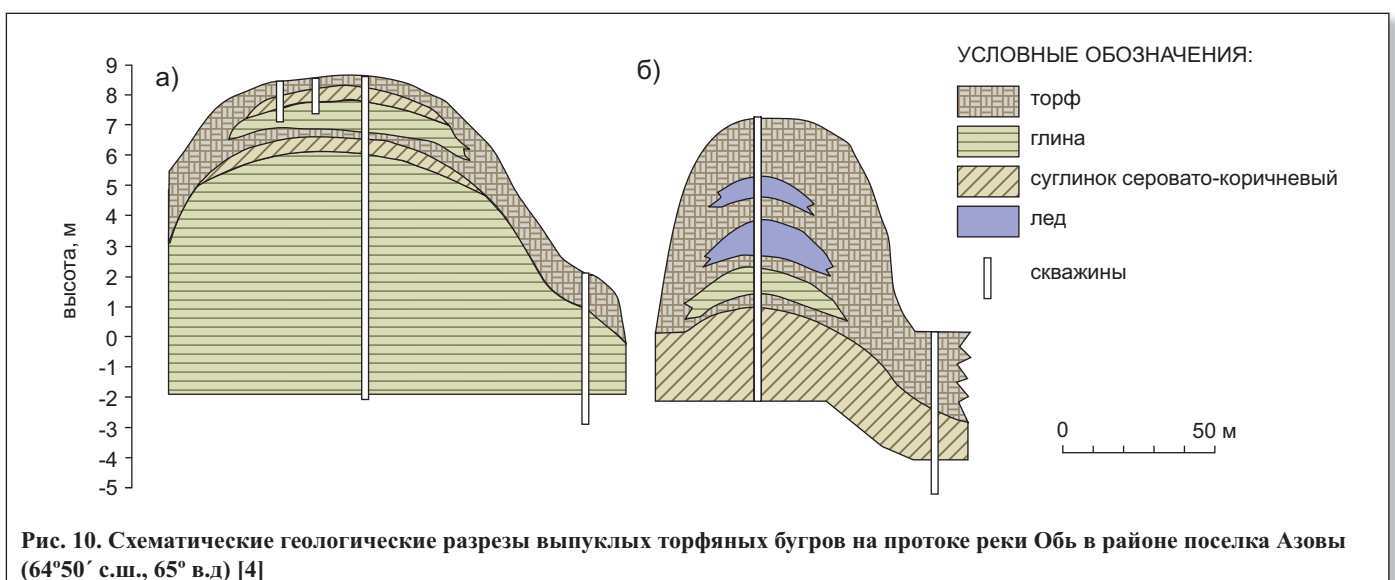


Рис. 10. Схематические геологические разрезы выпуклых торфяных бугров на протоке реки Обь в районе поселка Азовы (64°50' с.ш., 65° в.д.) [4]



ниже минус 22 °С в январе) и сравнительно теплым летом (выше 14 °С в июле). Среднегодовая температура воздуха, по данным метеостанции поселка Мужы, составляет минус 5,1 °С.

Все изученные в этом районе бугры пучения перекрыты с поверхности торфом разной мощности — от 1,4 до 4,4 м, при этом максимальная мощность превышает 5,5 м. Мощность торфа в межбугровых понижениях обычно превышает 3,5 м. В некоторых скважинах и обнажениях в нижней части толщи торфа встречены стволы деревьев и шишки. В интервале 5,50–5,84 м встречен древесно-торфяной горизонт со стволами деревьев диаметром до 12 см, которые иногда расколоты льдом на щепки (в древесине имеются ледяные шлиры).

В подстилающих глинах и суглинках встречаются слои погребенного торфа. В разрезе бугра пучения высотой 7 м и диаметром 100 м (рис. 10, а) сверху вниз вскрываются: до глубины 0,38 м — торф темно-коричневый талый; ниже — мерзлые породы. Торф подстилается суглинком коричневато-серым и глиной светло-серой. Ниже в разрезе отмечается погребенный слой торфа черного, хорошо разложившегося, который подстилается суглинком темно-коричневым, сильно оторфованным. В основании разреза — глина светло-серая, тяжелая, толщина ледяных шлиров в которой достигает 10–13 см (расстояние между ними изменяется от 4–5 до 11–13 см).

В разрезе рядом расположенного бугра с поверхности вскрыт относительно мощный слой темно-коричневого торфа, мерзлого, начиная с глубины 0,25 м, ниже которого скважиной вскрыт слой чистого крупнокристаллического льда мощностью 0,6 м (рис. 10, б). Лед располагается на контакте вышеописанного торфа и глины светло-серой с сетчатой криотекстурой [5].

В разрезе детально исследованного крупного бугра пучения в урочище Пугор-4 на глубине 1,8–2,0 м обнаружен погребенный торф в пределах суглинистого горизонта, представленного чередованием легких и тяжелых суглинков. Это указывает скорее всего на протаивание и проседание бугра и последующее возобновление роста. Его высота составляет 4,5 м, размеры в плане — 80×100 м. На вершине бугра мощность торфа не превышает 0,5 м. Льдистость как поверхностного, так и погребенного торфа невысока (20%), криотекстура массивная. Льдистость суглинков варьирует от 20 до 50%, при этом ее наибольшая величина отмечена в горизонтах тяжелых суглинков, для которых характерны линзовидная и среднешлировая криотекстуры. В нижней части суглинистого горизонта отмечена сетчатая криотекстура с мощностью шлиров 2–3 см и размером ячеек сетки 6×8 см. Более низкие значения льдистости (20–30%) получены для горизонтов легких опесчаненных суглинков, несмотря на то что они нередко имеют базальную криотекстуру (рис. 11). Льдистое ядро бугра находится в горизонте глины, вскрытого с глубины 3 м. Льдистость здесь возрастает до 60–80%, криотекстура крупносетчатая, крупношлировая, слоистая и крупнослоистая, мощность шлиров льда увеличивается сверху вниз от 4 до 13 см, расстояние между ними — 6–7 см.

В интервалах глубин 4,0–4,1, 6,2–6,6 и 9,0–9,3 м встречены прослой ледогрунта, представленные льдом с прослоями глины. В 60 м к юго-востоку на склоне этого бугра, имеющего вид плоской террасы, бурение показало несколько иное строение разреза. Мощность торфа здесь достигла 1,4 м, что скорее всего свидетель-

ствует о том, что в этом месте бугор пучения сформировался в более поздний период. В разрезе бугра пучения высотой 7 м и диаметром 100 м (рис. 10, а) сверху вниз вскрываются: до глубины 0,38 м — торф темно-коричневый талый; ниже — мерзлые породы. Торф подстилается суглинком коричневато-серым и глиной светло-серой. Ниже в разрезе отмечается погребенный слой торфа черного, хорошо разложившегося, который подстилается суглинком темно-коричневым, сильно оторфованным. В основании разреза — глина светло-серая, тяжелая, толщина ледяных шлиров в которой достигает 10–13 см (расстояние между ними изменяется от 4–5 до 11–13 см).

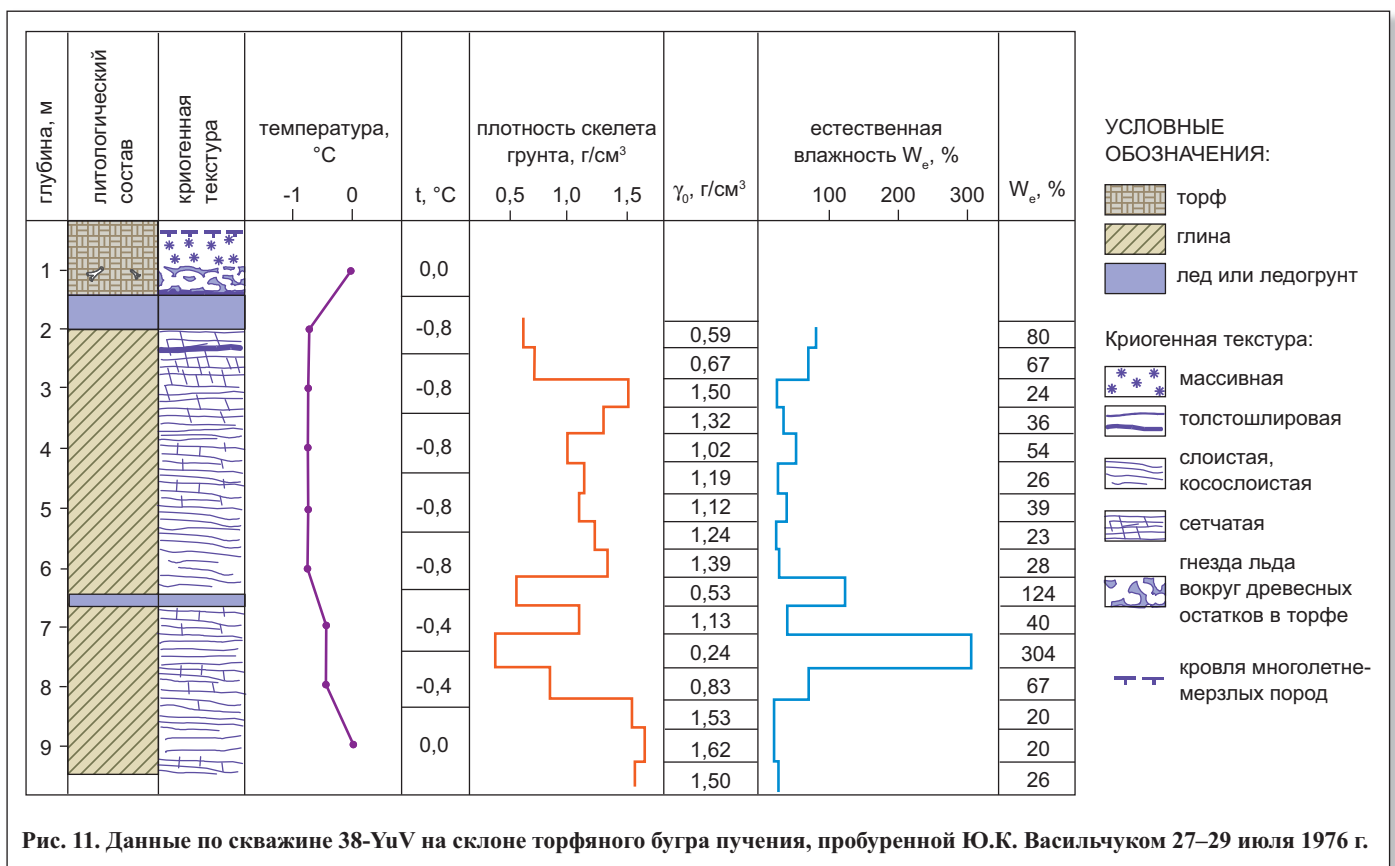


Рис. 11. Данные по скважине 38-YuV на склоне торфяного бугра пучения, пробуренной Ю.К. Васильчуком 27–29 июля 1976 г.

ствуется о сносе торфа с вершины в краевые части бугра. Льдистость торфа в этой части бугра оказалась более высокой, чем в вершинной. Лед в виде гнезд располагался вокруг древесных остатков. Кроме того, в придонной части был вскрыт слой льда мощностью 12 см.

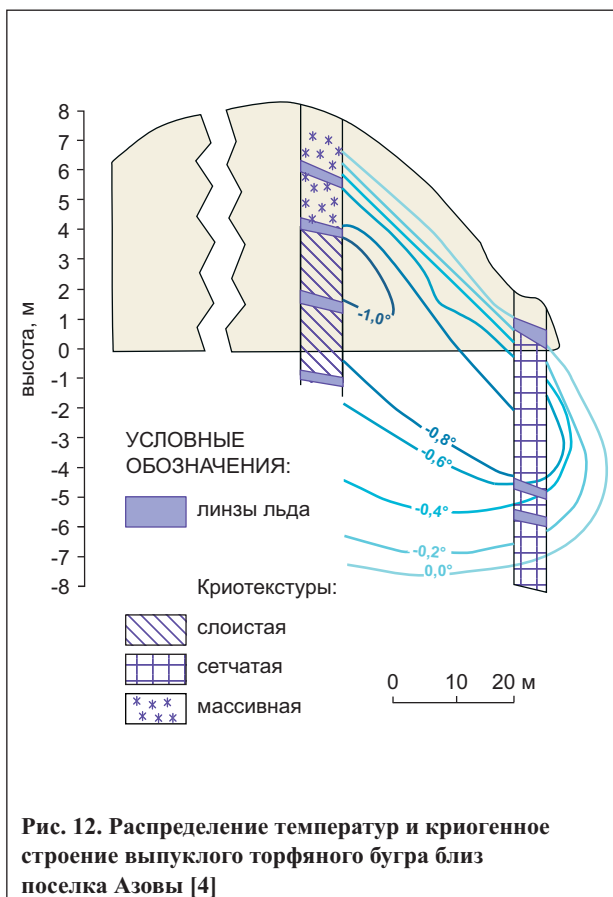
Слой льда мощностью 60 см встречен и на контакте торфа с подстилающей его глиной. Криогенное строение глины отличалось преобладанием сетчатой и неполносетчатой криотекстур в отличие от глины в вершинной части бугра, для которой были характерны слоистая и шлировая криотекстуры. Толщина слоев льда варьировала от 0,5 до 5 см, размер ячеек сетки — от 2 до 10–12 см. При этом с увеличением мощности слоев льда отмечалось увеличение размера ячеек сетки.

Льдистость глины с сетчатой криотекстурой без учета слоев льда не превышала 40%. С учетом шлиров льда она достигала 60–70%.

В интервале глубин 6,0–8,3 м встречена толстошлировая криотекстура, представленная шлирами льда мощностью 10–12 см, разделенными прослоями грунта такой же мощности. Здесь также встречен горизонт ледогрунта мощностью 17 см. Льдистость глины в этом интервале возрастает до 80%.

Сравнение криогенного строения бугра пучения в его вершинной и краевой частях демонстрирует неравномерное распределение льдистости по разрезу, особенно в краевой части (рис. 12). Также можно отметить более глубокое залегание льдонасыщенного слоя, представляющего собой ядро бугра пучения.

Отметим, что в ядре бугра пучения температура наиболее низкая ( $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), мерзлые породы распространены до глубины 7 м, а ниже залегают талые грунты.



**Рис. 12.** Распределение температур и криогенное строение выпуклого торфяного бугра близ поселка Азовы [4]

Бугристые торфяники здесь находятся в состоянии динамического равновесия, при этом в одних местах идет частичная деградация палыза, в других бугры развиваются, причем даже незначительное похолодание может вызвать их быстрый рост.

На многолетнемерзлые породы в долине р. Обь существенно влияет водный режим, особенно в зоне затопления в пойме и на первой террасе, поэтому южная граница распространения бугров пучения на низких элементах рельефа здесь располагается несколько севернее, чем на высоких террасах и водораздельных равнинах.

### Юг Западной Сибири:

#### широтное течение р. Оби и Приуралье

Миграционные бугры пучения в южной тайге Западной Сибири описывали Ю.А. Львов [15] (в 150 км южнее поселка Средний Васюган), А.Е. Березин [2] (в долине реки Ягыл-Ях на Васюганской равнине), Е.Я. Мульдьяров [18], Т.А. Бляхарчук [25] (у поселка Ягодное южнее реки Кеть). Р.С. Ильин [11] отмечал криогенные формы рельефа в северной части Васюганской равнины, А.Г. Дюкарев и Н.Н. Пологова [10] — в долине правого притока реки Костиha в Томской области.

Самый южный из известных миграционных бугор пучения изучен А.Г. Дюкаревым и Н.Н. Пологовой [10] в Бакчарском районе Томской области ( $57^{\circ}04'$  с.ш.,  $82^{\circ}26'$  в. д.) — в нижней части склона к долине правого притока р. Костиha. Повышение овальной формы с двумя вершинами высотой до 2 м, вытянутое вдоль склона, отличается по наземному покрову и микро-рельефу от окружающего леса (рис. 13). Поверхность этого бугра пучения неровная, в центральной части формируется воронкообразное понижение. По краю палыза сохранились крупные (до 36 см в диаметре) деревья кедра и ели 200–240-летнего возраста, наклоненные в сторону от бугра (эффект «пьяного леса»). В его середине взрослых деревьев нет, отмечаются только отдельные молодые кедры высотой до 6 м, возраст которых составляет 40–60 лет. С поверхности палыза залегает торф мощностью 40–45 см, подстилаемый органико-аккумулятивно-гумусовой почвой с хорошо развитым гумусовым горизонтом мощностью до 50 см. Почвы здесь, как и почвы окружающего леса, легкие глинистые, развитые на карбонатных глинах. Этот миграционный бугор пучения, вероятно, находится в фазе распада, признаком чего являются воронкообразное понижение на его вершине и мочажины в краевой части. Его возраст оценивается в 300–400 лет, активная деградация началась 30–40 лет назад.

Похожие торфяные бугры исследовали Т.А. Бляхарчук и Л.Д. Сулержицкий [25] на болоте Бугристое ( $58^{\circ}15'$  с.ш.,  $85^{\circ}20'$  в.д., абс. высота 130 м) в междуречье рек Кеть и Чулым в Томской области на юго-востоке Западно-Сибирской равнины. Среднегодовая температура воздуха по данным расположенной рядом метеостанции Колпашево ( $58^{\circ}20'$  с.ш.,  $82^{\circ}59'$  в.д.) составляет минус  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Болото расположено около заполненной песком ложбины стока послеледникового озера. Здесь на песчаных почвах произрастает лес. Бугор пучения овальной формы расположен на участке преимущественно олиготрофной растительности. Он сложен мерзлым торфом и образует выпуклый остров в



немерзлом торфе болота. Поверхность бугра покрыта высоким сосновым лесом с карликовыми кустарниками, среди которых развиты круглые термокарстовые впадины с влажными сфагновыми сообществами. В результате термокарстовых процессов стволы сосен наклонены в разных направлениях (рис. 14).

Датирование торфяных прослоев и изучение разреза показали, что промерзание болота и начало роста пальза началось 4300 лет назад, о чем свидетельствует смена типа торфа на глубине 160–90 см. Данный болотный массив является экстразональным, т.к. болота такого типа распространены на 400 км севернее. Поскольку он расположен на южном пределе распространения многолетнемерзлых пород, климатические изменения заметно отражаются на состоянии пальза. В настоящее время здесь активизировались термокарстовые процессы, которые приводят к протаиванию бугров пучения, образованию округлых понижений на поверхности болота и формированию «пьяного леса».

Южное местонахождение бугров пучения на болоте Бугристое близ поселка Белый Яр и в Бакчарском районе западнее поселка Асино дает основание для существенного смещения границы многолетнемерзлых пород на юг по сравнению с проводившейся ранее [1, 8, 20]. Эта граница, по представлению авторов, пересекает долину р. Обь южнее поселка Колпашево, а долину реки Чулым — севернее поселка Асино. Далее на восток она выходит на Чулымскую равнину южнее поселка Белый Яр.

В Приуралье примерно на тех же широтах (но все же чуть севернее) Г.И. Дубиков и Л.М. Шмелев [9] в начале 70-х гг. XX в. провели детальные мерзлотные исследования в бассейнах рек Малая Сосьва, Пунга, Сыскосынья, Пелым. Основными причинами развития бугров пучения в этих районах, по мнению Г.И. Дубикова и Л.М. Шмелева [9], является сочетание природных условий, главными из которых являются:

- отрицательная многолетняя среднегодовая температура воздуха (–2,6; –3,2; –2,7; –2,4; –1,8 °С в поселках Игрим, Октябрьское, Сартынья, Хонгокурт и Шухтуркурт соответственно);
- глинистый и торфяной состав и большая увлажненность грунтов верхнего горизонта;
- темнохвойные густые леса, затеняющие поверхность грунта и снижающие (примерно на 2–4 °С) температуру поверхности до температуры приземного слоя воздуха;

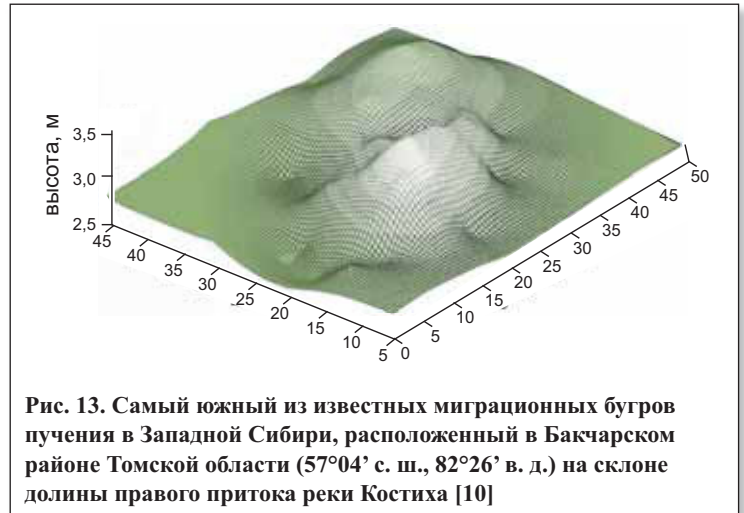


Рис. 13. Самый южный из известных миграционных бугров пучения в Западной Сибири, расположенный в Бакчарском районе Томской области (57°04' с. ш., 82°26' в. д.) на склоне долины правого притока реки Костиха [10]

- мохово-лишайниковый напочвенный покров мощностью до 30 см, охлаждающий грунт в темнохвойном лесу на 2 °С.

Бугры пучения в пределах высокой поймы рек Колы-Хулом и Малая Сосьва в районе их слияния (рис. 15, а), характеризовались высотой от 1,5 до 3,0 м. Они сложены влажным (с суммарной влажностью 50–60%) торфом мощностью от 1,5 до 4,5 м, подстилаемым глинами и суглинками.

Высота бугров, исследованных на первой надпойменной террасе реки Пунга (рис. 15, б), варьировала от 1,0 до 2,5 м. Мощность перекрывающего их торфа, как правило, составляла около 1,0 м. Подстилающие его породы — суглинки с линзами песков. Некоторые бугры полностью сложены минеральным грунтом. Суммарная влажность торфа — около 65%, суглинка — 45–50%.

На высокой пойме реки Пелым (60°29' с.ш., 62°40' в.д.) встречены как крупные бугры пучения, так и площадь пучения диаметром 300 м (рис. 15, в). Высота пучинистых форм здесь составляет 1,0–1,5 м, мощность торфа достигает 4–5 м, его суммарная влажность варьирует от 50 до 120%. Многолетнемерзлые породы встречены только в пределах исследуемых бугров, их температура не ниже минус 0,5°С.

Полученные Г.И. Дубиковым и Л.М. Шмелевым [9] сведения позволили провести южную границу распространения бугров пучения в этом районе значительно южнее, чем она ранее проводилась другими исследователями — Л.Ф. Куницыным [14], Е.Б. Белопуховой

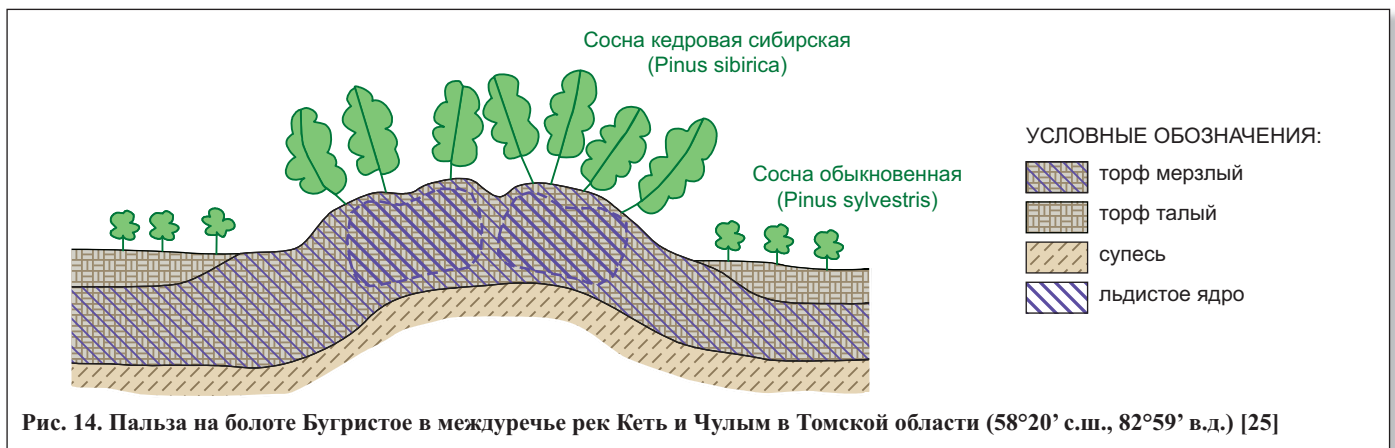


Рис. 14. Пальза на болоте Бугристое в междуречье рек Кеть и Чулым в Томской области (58°20' с.ш., 82°59' в.д.) [25]



[1], А.И. Поповым [20]. Она проведена от района поселка Полуночное, пересекает верховья реки Пелым, истоки рек Конда и Малая Сосьва и выходит к р. Обь немного севернее поселка Октябрьское.

Таким образом, выявились две крупные области со спорадическим и редкоостровным распространением многолетнемерзлых пород на широте 57–60° с.ш., которые ранее [8, 20] считались тальми. Индикаторами

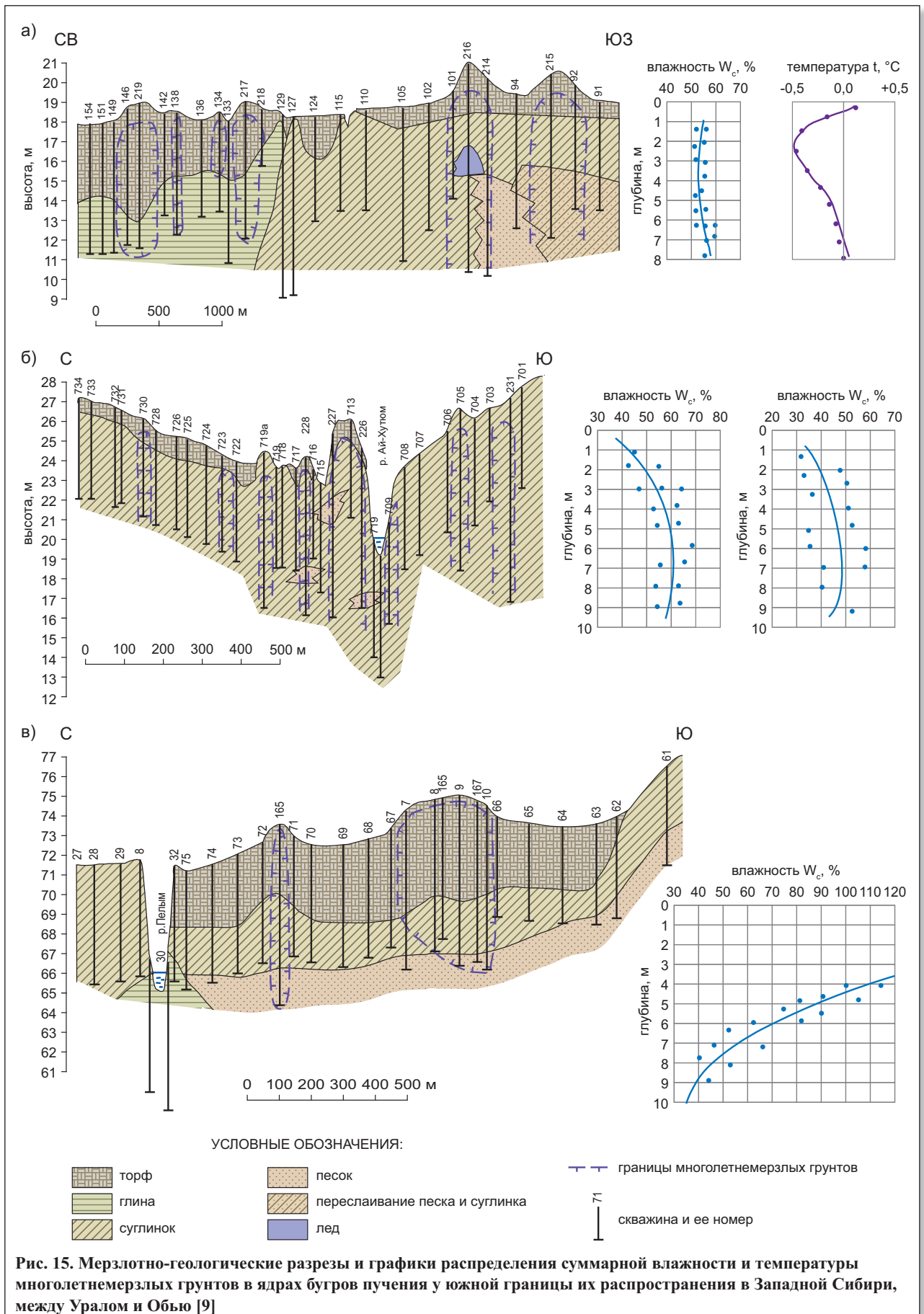


Рис. 15. Мерзлотно-геологические разрезы и графики распределения суммарной влажности и температуры многолетнемерзлых грунтов в ядрах бугров пучения у южной границы их распространения в Западной Сибири, между Уралом и Обью [9]



многолетнемерзлых пород в этих областях являются миграционные бугры пучения, существующие 2–5 и более лет.

### Северный предел распространения пальза

#### Полуостров Ямал

Считалось [1, 20], что в Западной Сибири миграционные бугры пучения в основном распространены в диапазоне среднегодовых температур грунта от 0 — минус 0,5 °С до минус 3 °С. Однако авторами настоящей статьи и другими исследователями на Ямале, на Тазовском полуострове и в низовьях р. Енисея встречены бугры типа пальза, имеющие температуру ниже минус 3–4 °С.

Бугры пучения (предположительно сегрегационные) в парагенезе с повторно-жильными льдами изучались В.Ф. Болиховским [3] в верховьях бассейна реки Сабьяха на северо-восточном склоне возвышенности Хой (на Манорском участке). По данным ближайшей метеостанции в поселке Мыс Каменный среднегодовая температура воздуха здесь составляет минус 9,4 °С, средняя температура января — минус 24,4 °С, июля — плюс 8,1 °С. Обнаженный бугор пучения высотой 5 м располагается в термокарстовой котловине — хасырее, на перемычке между двумя остаточными озерами. Среднегодовая температура отложений бугра пучения на глубине 8–9 м равна минус 5,2 °С. Термический минимум массива составляет минус 7,4 °С на глубине 7 м [3].

Грунты, слагающие бугор пучения, рассечены повторно-жильными льдами. Корни ледяных жил достигают уровня озерных вод или проникают несколько ниже его. Расстояние между жилами колеблется от 1,5 до 5,0 м. Различна также ширина жил. Наиболее широкие жилы (до 0,6 м) отмечены у поверхности центральной части бугра пучения и на его периферии, в промежутке между ними ширина повторно-жильных льдов в 2–3 раза меньше (рис. 16). Сходство химического и изотопного составов льда бугра пучения и вод окружающего его озера указывает на то, что источниками воды для льда бугра и для жил являются атмосферные осадки и воды озера и болота.

Второй бугор пучения находится в заболоченной термокарстовой котловине. Его относительная высота составляет 7–8 м, форма в плане — эллипсовидная. Наблюдаются как плавные, так и весьма крутые сопряжения торфяного покрова бугра пучения и заторфованного днища хасырея.

Бурение показало, что тело этого бугра состоит из ледяных и торфяных прослоев, которые чередуются следующим образом: 0,0–0,5 м — торф (сезонноталый слой); 0,5–3,4 м — лед; 3,4–3,8 м — торф; 3,8–4,8 м — лед; 4,8–5,0 м — торф; 5,0–7,5 м — лед; 7,5–8,0 м — торф. В интервале глубин 8,0–9,0 м — суглинок серый с небольшими прослоями песка и растительного детрита, находящийся в многолетнемерзлом состоянии. Торф — среднеразложившийся, высокольдистый, слоисто-сетчатой (реже линзовидной и атакситовой) криотекстурой. Лед в промежутке между торфяными прослоями прозрачный, содержит небольшое количество газовых пузырьков. Общая мощность торфяных прослоев в данном бугре пучения составляет 1,6 м, а чисто ледяных — 6,4 м. С учетом того что ниже сезонноталого слоя торфяные прослои находятся в многолетнемерзлом состоянии и распущены льдом, суммарная мощность этого торфа в талом виде должна быть меньше 1,6 м [3].

Расслоенность торфом ледяной линзы второго бугра пучения и малая прочность полуметрового слоя торфа над первым сверху пластом льда не позволяют, по мнению В.Ф. Болиховского [3], предполагать инъекционный механизм льдообразования для объяснения происхождения данного бугра, который скорее следует считать миграционным торфяным.

Принято считать, что в ядрах миграционных бугров пучения лед присутствует лишь в виде шпиров и линз. Результаты полевых исследований авторов настоящей статьи и обзора всех имеющихся криолитологических материалов свидетельствуют о том, что при сегрегационном типе льдообразования в ядрах пальза могут формироваться линзы и пласты льда мощностью до 1–3 м. Это заставляет по-иному оценивать торфяные бугры с ледяным ядром по генезису не как пинго, а как пальза.

Одним из таких пальза является тщательно разбуренный Ю.К. Васильчуком бугор в пойме реки Танловаяха (правого притока реки Щучья) на Южном Ямале

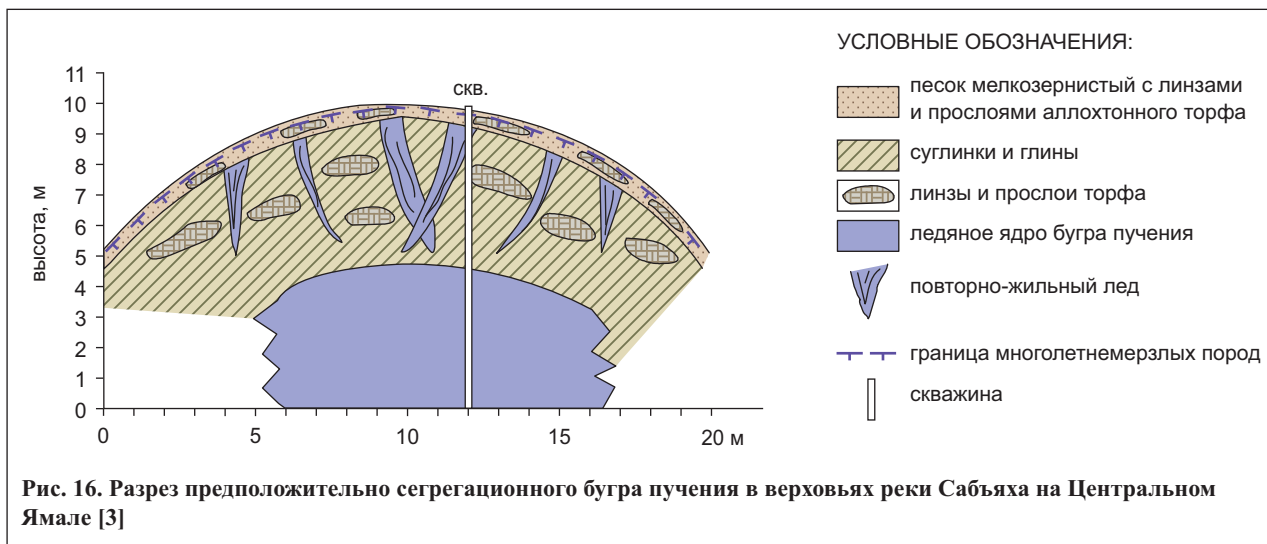
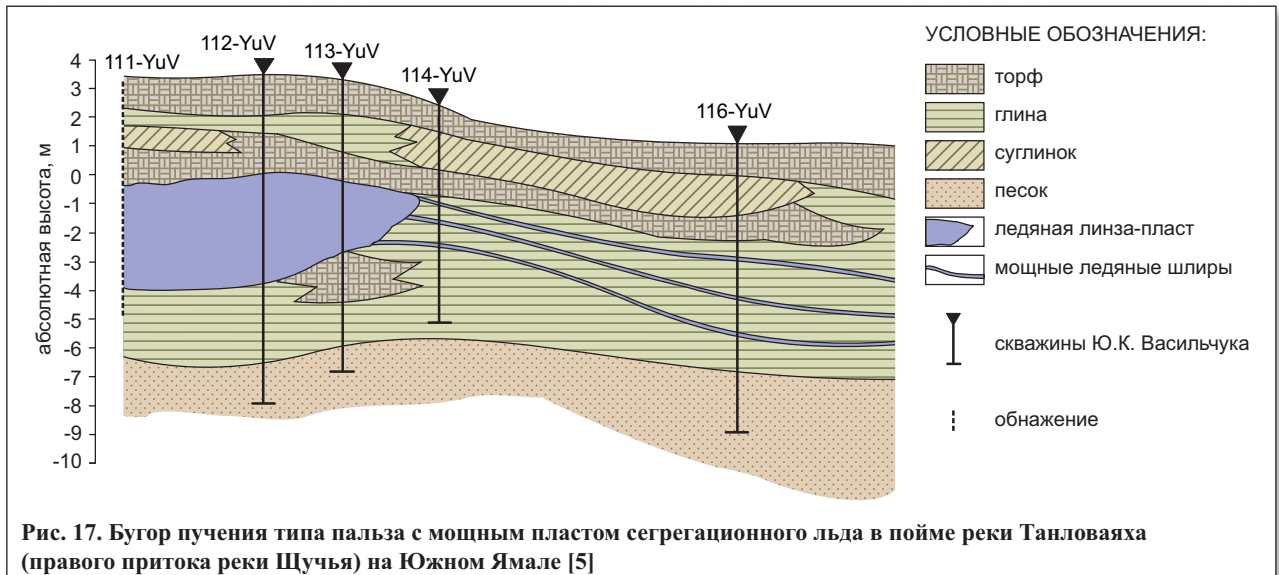


Рис. 16. Разрез предположительно сегрегационного бугра пучения в верховьях реки Сабьяха на Центральном Ямале [3]



**Рис. 17.** Бугор пучения типа пальца с мощным пластом сегрегационного льда в пойме реки Танловаяха (правого притока реки Щучья) на Южном Ямале [5]

(рис. 17). В его теле наряду со шлирами отмечается линза чистого льда мощностью более 3 м. Сложение разреза периферийной части бугра простое: торф подстилается глиной и песком. Строение осевой части сложное: здесь наблюдается циклическая смена в разрезе пачек торфа, суглинка и глины. Обращает на себя внимание характер залегания мощных ледяных шлиров: они располагаются практически согласно поверхности бугра, что служит определенным подтверждением их сегрегационного происхождения. Наличие прослоев торфа в разрезе бугра указывает на возможность его неоднократного пучения и проседания в прошлом, а торфяной покров на поверхности говорит о его родственности с типичными пальца. Это позволяет полагать, что, несмотря на столь мощную ледяную линзу, исследованный бугор является пальца, хотя и несколько нетипичного сложения — с мощной ледяной линзой.

О распространении бугров пучения на территории, расположенной между городами Дудинка и Игарка и вдоль реки Хантайка, сообщали многие исследователи — Д.А. Драницын, Н.И. Кузнецов [13], Н.С. Шевелева и Л.С. Хомичевская [23], хотя некоторые ошибочно относили их к остаточным формам расчленения плоских торфяников.

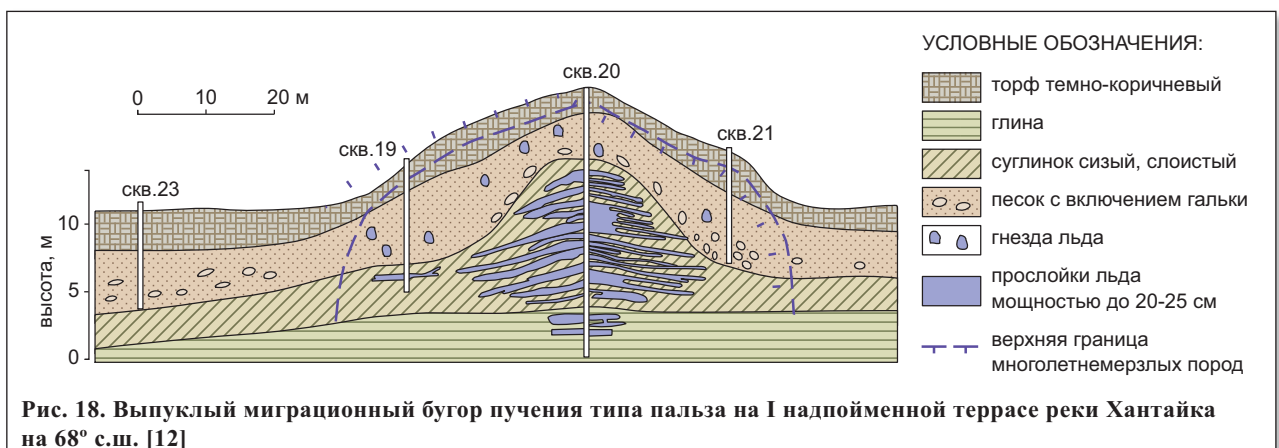
Г.С. Константинова [13] исследовала бугры пучения в районе Большого Хантайского порога (рис. 18).

Среди бугров пучения ею были выделены торфяные и минеральные.

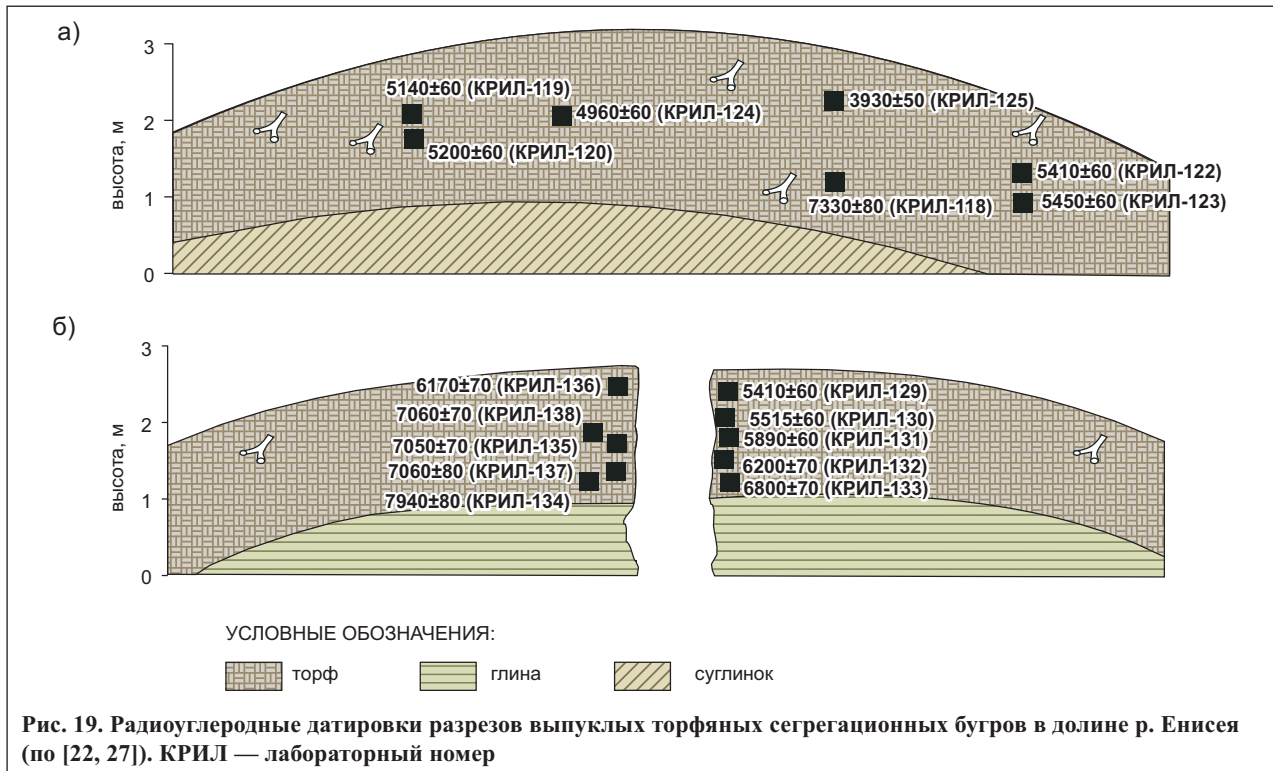
В Норильском районе В.Н. Сакс [21] описал группу торфяных бугров высотой до 6–7 м. Они сложены торфом до глубины 0,8 м, ниже — мерзлыми суглинками и супесями. Иногда они вытянуты в виде гряд, иногда имеют округлую форму, но всегда встречаются значительными группами, приуроченными к озерным и речным террасам. В.Н. Сакс относит такие площади к мелкобугристым ландшафтам и считает бугры «зарождающимися булгуньяхами», которые в настоящее время уже не могут возникать в тундровых районах вследствие небольшой мощности слоя сезонного протаивания.

Возраст бугра пучения типа пальца высотой 3 м в долине р. Енисей в окрестностях г. Игарки (67° с.ш., 86° в.д.) — между 7330 и 3900 лет (рис. 19, а). Две серии дат получены по двум буграм типа пальца высотой по 3 м [22], исследованным около г. Дудинки в низовьях р. Енисей (70° с.ш., 86° в.д.) — от 6800 до 5410 и от 7940 до 6170 лет (рис. 19, б, в).

Крупнобугристые болота Игарки и Дудинки относятся к одному географическому варианту, для которого характерно преобладание в растительном покрове бореальных и отчасти гипоарктических видов. Отличие игарских, более южных, болот от бугристых болот Дудинки — это их более бореальный характер: нали-



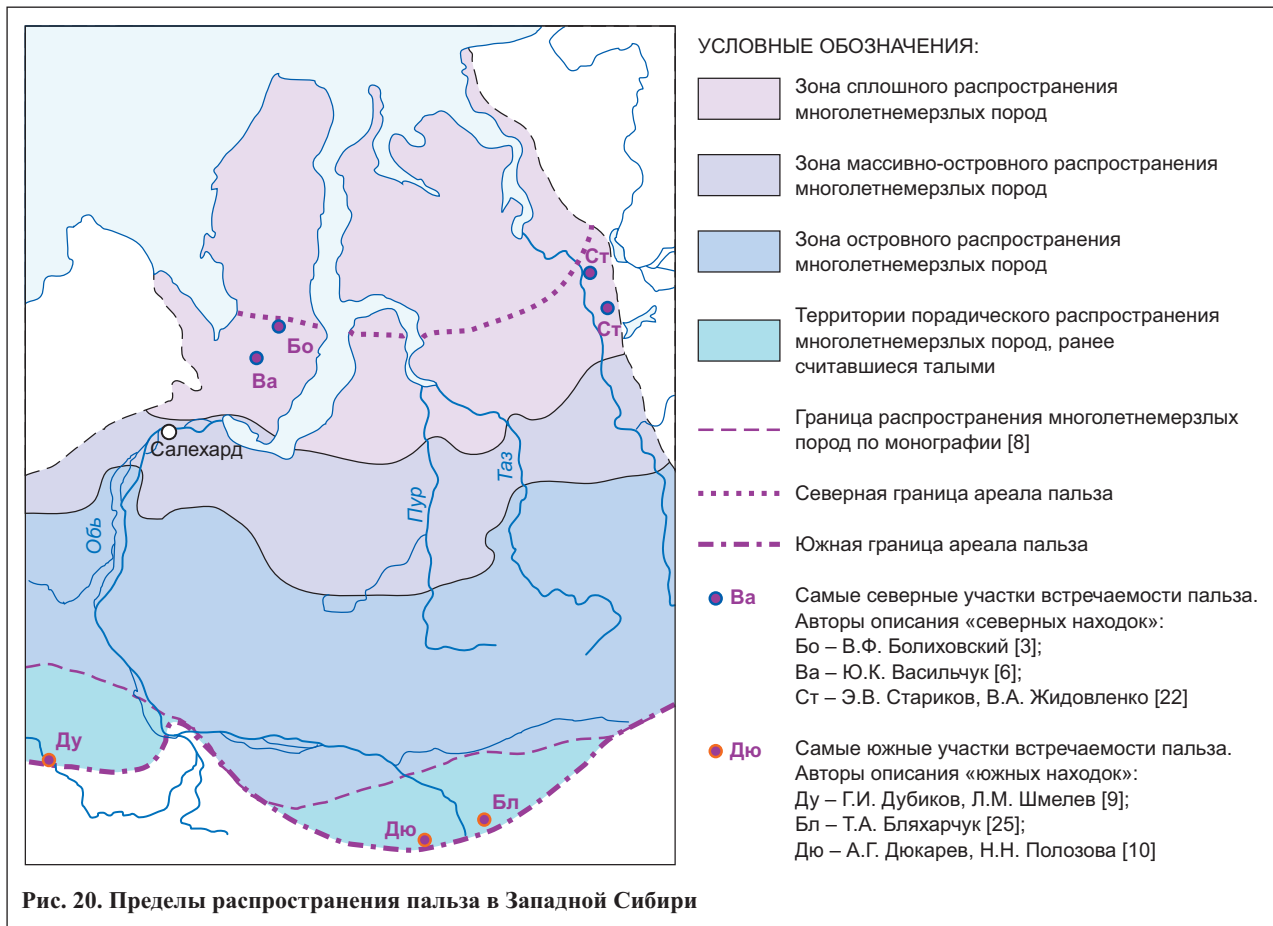
**Рис. 18.** Выпуклый миграционный бугор пучения типа пальца на I надпойменной террасе реки Хантайка на 68° с.ш. [12]



чие на буграх деревьев (бугры у Дудинки безлесны) и меньшая роль тундровых лишайников.

Наиболее часто встречается точка зрения об исключительной приуроченности пальза к южным районам криолитозоны, где многолетнемерзлые породы распространены прерывисто или спорадически. Между тем они нередко встречаются и в районах сплошного рас-

пространения многолетнемерзлых пород, практически всегда обнаруживаются в тех северных регионах, где есть торфяники, и обычно распространены в районах с продолжительными зимами и маломощным снежным покровом. Ареал пальза в северной части далеко заходит в зону низкотемпературных многолетнемерзлых пород со сплошным распространением с поверхности



и достигает 68° с.ш. на Ямале и Гыданском полуострове и 70° с.ш. в низовьях Енисея (рис. 20).

## Выводы

1. Бугры пучения — одно из самых распространенных криогенных явлений в Западной Сибири благодаря климатическим и гидрологическим особенностям данной территории.

2. Южный предел ареала бугров пучения в Западной Сибири совпадает с южной границей распространения многолетнемерзлых грунтов и проходит на западе региона примерно по 60° с.ш., южнее широтного течения Оби — примерно по 60° с.ш., на востоке — примерно по 57° с.ш.

3. Ареал миграционных бугров пучения в северной части далеко заходит в зону низкотемпературных многолетнемерзлых пород со сплошным распространением с поверхности и достигает 68° с.ш. на Ямале и Гыданском полуострове и 70° с.ш. в низовьях Енисея.

4. Современное состояние палъза даже в пределах одного массива может быть как деградационным, так и стабильным, аградационным, пульсирующим. ❄

*Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты 10-05-00986 и 11-05-01141) и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2012–2013 годы (лот 2012-1.1-12-000-1008).*

## Список литературы

1. Белоухова Е.Б. Особенности распространения многолетнемерзлых пород Западной Сибири // Труды ПНИИИС. М.: Изд-во ПНИИИС, 1972. Т. 18. С. 94–99.
2. Березин А.Е. Болота бассейна Среднего и Верхнего Васюгана // Чтения памяти Ю.А. Львова: сб. статей / под ред. Г.Ф. Плеханова. Томск: Изд-во НИИББ при ТГУ, 1995. С. 56–59.
3. Болиховский В.Ф. Парагенетические комплексы подземных льдов в буграх пучения Центрального Ямала // Криогенные физико-геологические процессы и методы изучения их развития. М.: Изд-во ВСЕГИНГЕО, 1987. С. 135–141.
4. Васильчук Ю.К. Некоторые особенности строения и условий образования выпуклобугристых торфяников севера Западной Сибири // Материалы VI Научной конференции молодых ученых. М.: Деп. в ВИНТИ, 1979. № 3901-79. 16 с.
5. Васильчук Ю.К. Об особенностях формирования бугров пучения на севере Западной Сибири в голоцене // Природные условия Западной Сибири. М.: Изд-во Московского ун-та, 1983. С. 88–103.
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. действительного члена РАЕН профессора Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Московского ун-та, 2008. 571 с.
7. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на Европейском Севере России — южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2011. № 2. С. 56–72.
8. Геокриология СССР. Том 2. Западная Сибирь / под ред. Е.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
9. Дубиков Г.И., Шмелев Л.М. Многолетнемерзлые грунты у южной границы их распространения между Уралом и р. Обью // Труды ПНИИИС. М.: ПНИИИС, 1976. Вып. 49. С. 86–110.
10. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Современные криоморфозы в ландшафтах южной тайги Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2007. № 1. С. 96–100.
11. Ильин Р.С. Природа Нарымского края // Материалы по изучению Сибири. Том II. Томск: Изд-во Томского отделения общества изучения Сибири и ее производительных сил, 1930. 346 с.
12. Константинова Г.С. О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 112–120.
13. Кузнецов Н.И. «Лайды» в низовьях р. Енисея, их строение, образование и место в классификационной схеме болотно-лесных образований // Труды полярной комиссии АН СССР. Вып. 12. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. С. 5–40.
14. Куницын Л.Ф. Многолетняя мерзлота и связанные с ней формы рельефа на северо-западе Западно-Сибирской низменности / Вопросы физической географии. М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 313–337.
15. Львов Ю.А. Болота Тым-Вахского междуречья // Природа и экономика севера Томской области: материалы комплексной экспедиции по изучению природных условий, естественных ресурсов и экономики нефтегазоносных районов Томской области. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1977. С. 118–133.
16. Мельников В.П., Спесивцев В.И. Криогенные образования в литосфере Земли: монография. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 344 с.
17. Москаленко Н., Пономарева О., Устинова Е. Мониторинг экзогенных геологических процессов на трассе газопровода Надым — Пунга // Инженерные изыскания. 2007. № 1. С. 34–36.
18. Мульдьяров Е.Я. Мерзлотный торфяник на междуречье Кети и Чулыма // Ледники и климат Сибири. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. С. 84–85.
19. Пономарева О.Е. Мониторинг динамики поверхности бугров пучения вдоль трассы газопровода Надым — Пунга (северная тайга Западной Сибири) // Материалы третьей конференции геокриологов России, г. Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 1–3 июня 2005 г. Том 2. Часть 3. Динамическая геокриология; Часть 4. Геоэкология криолитозоны. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2005. С. 141–146.
20. Попов А.И. Вечная мерзлота в Западной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 230 с.
21. Сакс В.Н. Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея // Проблемы Арктики. 1940. № 1. С. 62–79.
22. Стариков Э.В., Жидовленко В.А. Радиоуглеродные датировки института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. Сообщение 2 // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1981. Вып. 51. С. 62, 182–184, 191, 192.
23. Шевелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского севера. М.: Наука, 1967.
24. Шестернев Д.Д. Оценка пучиноопасности сезоннопромерзающих и сезоннооттаивающих грунтов в условиях деградации многолетнемерзлых пород (на примере Читино-Ингодинской впадины): автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: Изд-во МГУ, 2008. 24 с.
25. Blyakharchuk T.A., Sulerzhitsky L.D. Holocene vegetational and climatic changes in the forest zone of Western Siberia according to pollen records from the extrazonal palsa bog Bugristoye // The Holocene. 1999. V. 9. № 5. P. 622–627.
26. Shearer J.M., Macnab R.F., Pelletier B.R., Smith T.B. Submarine pingos in the Beaufort Sea // Science. 1971. V. 174. № 4011. P. 816–818.
27. Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.C. The <sup>14</sup>C age of palsas in Northern Eurasia // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 2. P. 895–904.

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ БАЙКАЛО-АМУРСКОЙ МАГИСТРАЛИ: ОПЫТ, ПРОБЛЕМЫ И БЛИЖАЙШИЕ ЗАДАЧИ

## ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL MONITORING OF THE BAIKAL-AMUR RAILROAD: THE EXPERIENCE, PROBLEMS, AND IMMEDIATE TASKS

**КОНДРАТЬЕВ В.Г.**

Научный руководитель НПП «ТрансИГЭМ», профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Забайкальского государственного университета, д.г.-м.н., г. Москва, г. Чита, v\_kondratiev@mail.ru

**KONDRATIEV V.G.**

The research manager of the «TransIGEM» Scientific-Production Enterprise, a professor of the department of hydrogeology and engineering geology of Trans-Baikal State University, doctor of science (Geology and Mineralogy), Moscow, Chita

### Ключевые слова:

Байкало-Амурская магистраль (БАМ); вечная мерзлота; деформации земляного полотна; стабилизационные мероприятия; инженерно-геокриологический мониторинг.

### Key words:

Baikal-Amur Railroad; permafrost; embankment deformations; stabilization measures; engineering-geocryological monitoring.

### Аннотация

Статья подготовлена на основе доклада на VII Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, 15–16 декабря 2011 г.). В ней рассматриваются: концепция системы мониторинга Байкало-Амурской железнодорожной магистрали (БАМ); современное состояние земляного полотна БАМ; опыт организации и результаты инженерно-геокриологического обследования и мониторинга дороги в 1989–1991 гг.; необходимость создания, структура и схема функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга (СИГМ) железнодорожного пути; необходимость и пути разработки комплексной программы организации (КПО) СИГМ БАМ.

### Abstract

The article is prepared on the basis of a report on the VII All-Russian Conference «Development prospects of engineering surveys in construction in the Russian Federation» (Moscow, 15–16 December 2011). It considers: the monitoring system concept of the Baikal-Amur Railroad (BAM RR); the modern state of the BAM RR embankment; the organization experience and results of engineering-geocryological survey and monitoring of the embankment in 1989–1991; the necessity of creation, structure and functioning scheme of the engineering-geocryological monitoring system (EGMS) of the railroad line; the necessity and ways of development of a complex organization program (COP) of the EGMS BAM RR.

Байкало-Амурская магистраль (БАМ), как известно, проходит по территории с особо сложными природными условиями, характеризующимися почти повсеместным распространением вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов, что предопределило громадные трудности при изысканиях, проектировании, строительстве и в особенности при эксплуатации этой железной дороги.

Так, на линии Тында — Ургал на Восточном участке БАМ уже в первые годы эксплуатации, в феврале 1992 г. насчитывалось 188 «больных» и деформирующихся мест земляного полотна общей протяженностью 186,6 км, или 19,2% линии длиной 965 км. В 2004 г. протяженность «больных» мест увеличилась до 325,4 км и составляла 34,2% от всей длины линии. В 2007 г., несмотря на постоянное проведение работ по исправлению пути, участки общей протяженностью 192,4 км (20,6% линии) продолжали деформироваться.

По всей трассе БАМ от Усть-Кута до Комсомольска-на-Амуре в 1992 г. насчитывалось 4238 «больных» мест общей протяженностью 1101 км (35% от всей длины магистрали). При этом осадки земляного полотна вследствие деградации многолетнемерзлых грунтов в его основании составляли около 69% [11].

Эксплуатация БАМ показала, что традиционный метод поддержания железнодорожного пути в рабочем состоянии компенсацией осадки земляного полотна подъемкой рельсошпальной решетки на балласт неэффективен как в техническом, так и в экономическом отношении. Слишком дороги и не везде эффективны и широко используемые на БАМ бермы и наброски на откосы насыпей и выемок из сортированного скального грунта, а также термосифоны.

Стратегия инновационного развития российских железных дорог предусматривает перспективный рост перевозок по БАМ для обеспечения потребностей экономики страны и ее населения. При этом планируется увеличить осевые и погонные нагрузки грузовых поездов, массу и длину составов, увеличить скорость их



движения. Но прежде необходимо кардинально улучшить состояние земляного полотна, в особенности на участках льдистых многолетнемерзлых грунтов, где скорость движения поездов на протяжении десятилетий постоянно ограничена до 25–40 км/ч. Для этого нужна новая идеология и совершенствование научно-методических основ инженерно-геокриологического обеспечения содержания, реконструкции и модернизации БАМ, в которых мерзлотная составляющая учитывалась бы во всем процессе эксплуатации земляного полотна и искусственных сооружений магистрали. Важнейшим звеном такой идеологии должна стать система инженерно-геокриологического мониторинга БАМ, о необходимости которой автор впервые говорил и писал еще 26 лет назад [8]. (Под инженерно-геокриологическим мониторингом автор понимает систематические наблюдения (контроль) за изменениями инженерно-геокриологических условий в ходе естественной эволюции природы и под воздействием техногенных факторов [2, 12], а под системой инженерно-геокриологического мониторинга — постоянно действующую систему контроля, оценки, прогноза и управления инженерно-геокриологическими условиями [9].)

### Опыт организации и проведения инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ в 1988–1992 гг.

Земляное полотно БАМ на участках многолетней мерзлоты было запроектировано по II принципу — с допущением оттаивания многолетнемерзлых грунтов в его основании в период эксплуатации. Для компенсации его осадок в первые годы эксплуатации проекты предусматривали подъемку пути на балласт. Предполагалось, что за 3–4 года земляное полотно стабилизируется, однако этого не произошло и деформации приняли угрожающий характер (рис. 1).

Сразу же после приемки БАМ в постоянную эксплуатацию в 1989 г. потребовались значительные затраты на мероприятия по поддержанию железнодорожного пути в рабочем состоянии: 14,5 млн руб. в 1990 г. и 31,8 млн руб. в 1991 г. в ценах 1990 г. Стало очевидным, что использование традиционного метода стабилизации земляного полотна в условиях БАМ оказалось не только затруднительным, но и чрезвычайно дорогим: для ликвидации осадок и ремонта пути, уширения земляного полотна вследствие деградации вечной мерзлоты требовалась ежегодная укладка 2,0–2,5 млн м<sup>3</sup> балласта. Кроме того, для устройства охлаждающей обсыпки откосов насыпей, предложенного Г.П. Минайловым, требовался фракционный камень в объеме 3–4 млн м<sup>3</sup> [1].

Необеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна БАМ обусловлено многими причинами, в т.ч. неучтенными и неконтролируемыми техногенными изменениями инженерно-геокриологических условий на трассе дороги вследствие их недостаточной изученности при изысканиях, несовершенства проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна на многолетнемерзлых грунтах.

Анализ состояния геокриологического обеспечения проектирования, строительства и эксплуатации железных дорог в криолитозоне и предложений по их совершенствованию показал, что только глубокое и всестороннее изучение закономерностей формирования и развития мерзлотных условий, систематический контроль их динамики и воздействия на сооружения, своевременное осуществление мер противомерзлотной защиты могут обеспечить устойчивость и надежность БАМ. Впервые эти выводы были изложены и одобрены в апреле 1987 г. на совещании при главном инженере Байкало-Амурской железной дороги (БАМ ж.д.), а затем они были опубликованы в статье [8]. Указанием министра путей сообщения СССР № 44 от 8.02.1988 г., затем Протоколом оперативного совещания при заместителе министра от 25.07.1988 г. начальнику БАМ ж.д. было предписано разработать и утвердить программу инженерно-геологического и геокриологического обследования «больных» мест земляного полотна на всем протяжении этой магистрали.

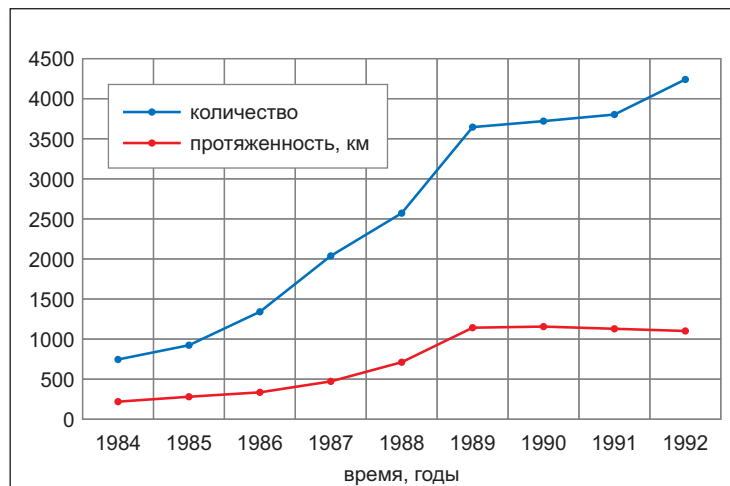


Рис. 1. Количество и общая протяженность (км) деформирующихся мест земляного полотна БАМ в 1984–1992 гг. [11]

Вополнение данных решений Управление капитального строительства МПС СССР, Управление пути МПС СССР и БАМ ж.д. в октябре 1988 — мае 1990 гг. выдали Мосгипротрансу как генеральному проектировщику БАМ, задания на инженерно-геокриологическое обследование и мониторинг участков Тында — Ургал, Беркакит — Томмот, Бамовская — Тында, Тында — Беркакит, Усть-Кут — Кунерма, Байкальский тоннель — Чара и Чара — Тында. Этими заданиями предусматривалось:

- провести инженерно-геокриологическое обследование указанных участков для установления реальной мерзлотной обстановки на них, «больных» мест и причин их возникновения;
- разработать прогноз изменения мерзлотных условий и появления в связи с этим новых «больных» мест;
- разработать мероприятия по предотвращению, ослаблению или подавлению неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов;
- разработать программу геокриологического мониторинга — системы натуральных наблюдений за изменением мерзлотных условий в ходе естественной эволюции природы и под воздействием техногенных факторов;
- разработать предложения по организации и структуре мерзлотной службы БАМ ж.д. для постоянного контроля устойчивости железнодорожных объектов и

охраны геокриологической среды, режимных наблюдений за динамикой мерзлотной обстановки, систематического изучения воздействия криогенных процессов на магистраль и оперативной корректировки мероприятий по ее противомерзлотной защите.

Для решения первой задачи необходимо было с помощью аэрофотосъемки, геофизических исследований, бурения, инженерно-геокриологической съемки, режимных наблюдений, лабораторных и камеральных исследований установить состав, криогенное строение, физико-механические и теплофизические свойства, распространение, температурный режим, условия залегания и мощность сезонно- и многолетнемерзлых и сезонноталых пород, развитие криогенных процессов и явлений. В результате должны были быть установлены закономерности формирования и развития геокриологических условий в зависимости от геолого-географических факторов, конструктивных и технологических особенностей элементов железной дороги.

На этой основе, а также используя математическое и физическое моделирование в сочетании с теплотехническими расчетами и режимными наблюдениями необходимо было решить вторую задачу — геокриологическое прогнозирование, целью которого являлось получение научно обоснованного, «конкретного в пространстве и времени» представления о характере возможных изменений инженерно-геокриологической обстановки вследствие естественных природных процессов и техногенных воздействий при строительстве и эксплуатации магистрали.

Результаты решения первых двух задач необходимо было представить в виде специальных карт, разрезов и таблиц, а также пояснительных записок. Для «больных» и потенциально «больных» участков был выбран масштаб карт 1:1000–1:2000, для остальных — 1:10 000–1:20 000.

Эти материалы, в свою очередь, явились исходными данными для решения третьей задачи — управления инженерно-геокриологической обстановкой, цель которого — создание оптимальных условий для эксплуатации магистрали и охраны природы. Иначе говоря, в неблагоприятных мерзлотных условиях или при возможном неблагоприятном их изменении в будущем необходимо целенаправленное изменение мерзлотной обстановки.

Принципиальной основой для управления мерзлотными условиями является информация о закономерностях их формирования и изменениях, выявляемых при мерзлотной съемке и мерзлотном прогнозе. Мероприятия по управлению мерзлотной обстановкой в зависимости от конкретных условий могут быть направлены на понижение или повышение среднегодовой температуры грунтов, уменьшение или увеличение мощности сезонноталого или сезонномерзлого слоя, ослабление пучения и осадки грунтов, а также на предотвращение новообразования мерзлоты, термокарста, термоэрозии, солифлюкции, наледей и других криогенных процессов и явлений. Для достижения нужного результата возможны непосредственные воздействия на геолого-географические факторы природной среды, а также конструктивные и технологические мероприятия.

При решении четвертой задачи — геокриологическом мониторинге — необходимо было подвергнуть

систематическому квалифицированному контролю мерзлотоформирующие геолого-географические и техногенные факторы, температурный режим грунтов, их сезонное оттаивание и промерзание, деградацию и аградацию многолетней мерзлоты, развитие криогенных процессов и воздействие их на железнодорожные объекты. Мониторинговая информация позволяет проверять достоверность геокриологического прогноза, правильность и эффективность мероприятий по управлению мерзлотной обстановкой, а в случае необходимости — корректировать их или разрабатывать новые.

Концепция создания противомерзлотной защиты БАМ и научно-методическая часть программы исследований были опубликованы в работе [7] и докладывались на различных научно-технических совещаниях и конференциях. Программы работ по отдельным участкам БАМ и АЯМ (Амуро-Якутской магистрали) многократно обсуждались и дополнялись в Мосгипротрансе, БАМ ж.д., МПС и Минтрансстрое. Так, в марте 1991 г. научно-технический совет МПС специально рассмотрел вопрос о состоянии земляного полотна БАМ и путях его стабилизации и одобрил программу действий БАМ ж.д. и Мосгипротранса по созданию противомерзлотной защиты БАМ.

Работы по программе инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна были начаты на участках: Тында — Ургал (Восточном) в 1989 г., Беркамит — Томмот в 1989 г., Бамовская — Тында в 1990 г., Тында — Чара (Центральном) в 1991 г., Чара — Усть-Кут (Западном) в 1991 г. Из-за финансовых затруднений заказчика — БАМ ж.д. — не были начаты работы на участках Тында — Беркамит и Ургал — Постьшево.

К выполнению программы исследований на отдельных участках БАМ были привлечены проектные институты «Томгипротранс» (на участке Усть-Кут — Кунерма), «Сибгипротранс» (Байкальский тоннель — Чара), «Ленгипротранс» (Чара — Тында), а также специализированные научно-исследовательские организации (ТМС, ЦНИИС, МГУ, ВНИИЖТ, ВСЕГИНГЕО, ЧПИ и др.) для решения отдельных тематических задач.

Почти на всю протяженность Байкало-Амурской (от Усть-Кута до Ургала) и Амуро-Якутской (от Бамовской до Якутска) магистралей был выполнен комплекс летно-съёмочных работ с самолета АН-2 с высоты 100–300 м и с самолета ТУ-134 СХА с высоты 3–5 км — телевизионная, тепловизионная и многозональная съемки. Был получен громадный объем информации (например, только спектрально-зональных снимков масштаба 1:10 000 насчитывалось более 2000). Кроме того, на Восточном участке все «больные» и потенциально опасные места были охвачены детальной аэрофотосъемкой, что позволило оперативно составить топопланы, а также детальные мерзлотные карты для разработки противодеформационных мероприятий. При этом использовалась вся имевшаяся информация по материалам предыдущих исследований, специально выполнявшихся работ, наблюдений службы пути БАМ ж.д.

Совместный анализ закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геокриологических условий и данных по развитию деформаций позволял оценивать состояние земляного полотна по степени его устойчивости. При этом учитывались актив-





ность протекания процессов непосредственно в теле насыпи и в полосе отчуждения и устойчивость грунтов основания, определяемая льдистостью и мощностью многолетнемерзлых толщ, тепловой осадкой при оттаивании, обводненностью и пучинистостью. По этим критериям проводилась оценка состояния (неустойчивого, относительно неустойчивого, потенциально неустойчивого и устойчивого) земляного полотна, которое показывалось на карте окраской по «семафорному» принципу: красным, розовым, желтым и зеленым цветами. На карту выносились также типы деформаций земляного полотна.

Инженерно-геокриологические карты наглядно иллюстрировали пространственную изменчивость устойчивости земляного полотна, отражали причинно-следственную связь развития его деформаций с мерзлотно-грунтовыми условиями, позволяли сократить объем обследований на деформирующихся участках, а также выявить потенциально неблагоприятные участки, на которых необходимо было установить наблюдения или принять превентивные меры. Карты масштаба 1:10 000 были составлены на 400 км трассы на Восточном участке БАМ (Тында — Зейск) и на 22 км — на Западном (Улан-Макит — Кодар). Детальные карты масштаба 1:1000-1:2000 были составлены на 23 «больных» места Восточного участка общей протяженностью 45 км и на одно такое место на Западном участке.

Для оценки возможных изменений инженерно-геокриологических условий, необходимости и достаточности проектируемых противодеформационных мероприятий выполнялось инженерно-геокриологическое прогнозирование, основанное на теплофизических расчетах и данных, полученных при обследовании конкретных участков земляного полотна. Всего было выполнено прогнозирование для 33 деформирующихся мест (для 28 — на Восточном и для 5 — на Западном участках), причем для 24 мест прогнозирование было выполнено Мосгипротрансом собственными силами, а для 9 — с помощью субподрядных организаций (МГУ — 7, ЦНИИС — 2). Теплофизические расчеты выполнялись для 10–15 вариантов изменения климатических факторов и противодеформационных мероприятий. При этом устанавливались наиболее вероятные причины возможных изменений мерзлотных условий и развития деформаций и давались рекомендации по устранению или предотвращению последних.

Анализ результатов теплофизических расчетов и сопоставление их с данными натурных исследований позволили сделать определенные выводы о причинах деформаций земляного полотна на участках многолетнемерзлых грунтов.

1. Деформации земляного полотна в основном вызываются многолетним оттаиванием и осадкой грунтов в его основании. Их величина и длительность развития зависят от мощности льдистых толщ и глубины многолетнего оттаивания последних.

2. Прогрессирующее многолетнее оттаивание льдистых грунтов может возникнуть при любых высоте и конструкции земляного полотна, но более вероятно под высокими (6 м и более) и широкими насыпями. Дegradация многолетней мерзлоты возникает в таких условиях теплообмена, при которых среднегодовая температура на подошве сезонноталого слоя вслед-

ствие сочетания различных причин становится положительной.

3. Основными факторами, вызывающими деградацию многолетней мерзлоты в основании земляного полотна, являются:

- а) увеличение количества поглощенной солнечной радиации по сравнению с естественной поверхностью (например, марь имеет альбедо 25%, гравийное покрытие — 13%, зачерненная поверхность — 6%; на широте БАМ среднегодовая температура поверхности изменяется на 1–2 °С при изменении альбедо на 5–10%);
- б) инфильтрация теплых летних осадков (повышение среднегодовой температуры грунтов при этом может достигать нескольких градусов; на косогорах это резко усиливается в результате фильтрации поверхностных вод под насыпь);
- в) увеличение мощности снежного покрова в нижней части насыпи и на прилегающей территории (слой снега оказывает обогревающее влияние от 3–4 °С при его толщине 0,3 м до 12–13 °С при толщине 1 м).

4. В теле высокой насыпи образуются многолетние талики мощностью 2–6 м вследствие того, что глубина потенциального сезонного промерзания в данных климатических условиях меньше мощности насыпных грунтов. Под такими насыпями возникает зона непромерзающих грунтов, по которой фильтрующиеся воды в сочетании с прекратившимся зимним охлаждением вызывают многолетнее оттаивание грунтов основания.

К сожалению, только первые 2 года работы по инженерно-геокриологическому обследованию и мониторингу земляного полотна БАМ выполнялись по описанной выше программе, рассчитанной на 5 лет и предусматривавшей глубокие и последовательные исследования как для обоснования и разработки противодеформационных мероприятий для известных «больных» мест, так и для выявления потенциально опасных участков и разработки превентивных мероприятий. В начале 1991 г. из-за финансовых трудностей БАМ ж.д. работы по инженерно-геокриологическому обследованию земляного полотна для общей характеристики и оценки состояния линии, выявления потенциально опасных участков были переориентированы на детальные изыскания для выпуска проектной документации по «лечению» наиболее сильно деформирующихся участков. В 1992 г. работы по инженерно-геокриологическому обследованию и мониторингу земляного полотна БАМ практически прекратились. Не получили развития и опытно-экспериментальные работы по стабилизации земляного полотна на деградирующих многолетнемерзлых грунтах. В проектах в основном предусматривалось применение каменной наброски, в меньшей степени — парожидкостных охлаждающих установок в комплексе с пенопластом или торфом, а также продуваемых затенителей из железобетонных плит, укладываемых на обрезки старогонных деревянных шпал или из коробчатых железобетонных конструкций.

В конце 1992 г. было принято решение о создании на основе Тындинской мерзлотной станции ЦНИИС мерзлотной службы БАМ ж.д., о необходимости которой ставился вопрос еще в 1988 г. [7]. Предлагалось также создать специализированное ремонтно-строительное

подразделение БАМ ж.д. в составе мерзлотной службы или отдельное, но работающее под ее методическим руководством для проведения мероприятий по обеспечению стабильности дороги. Этого сделано не было.

Опыт организации и результаты инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ в 1989–1991 гг. были рассмотрены в работе [3] и широко использовались в Китае на Цинхай-Тибетской железной дороге [4, 5]. С точки зрения автора, они должны быть в полной мере использованы и при разработке системы комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием природно-технической системы Северного широтного хода, как сегодня иногда называют БАМ.

### Современное состояние земляного полотна БАМ

В настоящее время БАМ эксплуатируется на пределе своей пропускной способности. С учетом реализуемых инвестиционных проектов остро стоит вопрос о ее повышении. Предполагается, что к 2020 г. необходимо увеличить пропускную способность магистрали в 4,8–7,5 раза.

Главную проблему здесь представляет состояние пути. Так, на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД) 637 км (18%) из 3539 км земляного полотна подвержены деформациям вследствие оттаивания многолетней мерзлоты в основании. Деформации железнодорожного пути носят многолетний и незатухающий характер на участках, построенных как в 1974–1988 гг., так и в 1932–1940 гг. Скорость движения поездов составляет в основном 60 км/ч и только в отдельных местах 70 км/ч, а на «больных» участках она снижена до 25–40 км/ч. Надзор за состоянием земляного полотна в основном базируется на визуальных осмотрах его работниками дистанций пути и на наблюдениях за температурой грунтов, осуществляемых сотрудниками Тындинской мерзлотной станции, причем последние проводятся только на 41 из 1759 участков с деформациями земляного полотна.

Аналогична ситуация и в западной части БАМ, входящей в состав Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД). Наиболее характерный пример здесь представляет участок Наледный — Хани, обслуживаемый Ново-Чарской дистанцией пути и пересекающий с запада на восток Чарскую котловину и хребты Кодар (по тоннелю длиной 2 км) и Удокан. Здесь повсеместно

развиты многолетнемерзлые горные породы, нередко содержащие сегрегационный, инъекционный, погребенный и полигонально-жильный лед. Талики приурочены только к руслам рек и днищам глубоких озер, а также к местам разгрузки подземных вод глубокой циркуляции. Протяженность железнодорожного пути составляет 217,89 км, земляного полотна — 211,50 км. По данным на 03.08.2010 г., на указанном участке имелось 171 место с деформациями земляного полотна общей протяженностью 54,61 км (25,8% от всей длины участка). За период с 2005 по 2010 г. количество «больных» мест земляного полотна и их общая протяженность изменялись следующим образом:

- 01.01.2005 г. — 100 (27,16 км, 12,8%);
- 01.01.2006 г. — 105 (27,65 км, 13,1%);
- 01.01.2007 г. — 177 (58,70 км, 27,8%);
- 01.01.2008 г. — 183 (61,76 км, 29,21%);
- 20.05.2009 г. — 169 (54,12 км, 25,6%);
- 03.08.2010 г. — 171 (54,61 км, 25,8%).

Таким образом, за последние 5 лет количество «больных» мест увеличилось в 1,7 раза, их суммарная протяженность — в 2 раза, несмотря на систематический, в т.ч. капитальный ремонт и реконструкцию пути [6].

Многолетние деформации земляного полотна на участке Наледный — Хани вследствие оттаивания льдистых многолетнемерзлых грунтов в основании отмечаются в 144 (84,2%) местах общей протяженностью 43,025 км (78,8%). Примеры таких деформаций земляного полотна показаны на рисунках 2–5.

Так, на участке многолетних деформаций земляного полотна 1683–1684 км перегона Саллики — Сакукан, где с 20.06.1995 г. действовало ограничение скорости движения поездов до 40 км/ч, 28–31.07.2010 г. был произведен капитальный ремонт пути силами ПМС-66 по проекту института «Иркутскжелдорпроект» и с 26.08.2010 г. была разрешена скорость движения поездов до 60 км/ч. При этом, однако, здесь продолжается деградация многолетнемерзлых грунтов в основании земляного полотна и присыпной пазухи, увеличение протяженности, ширины и глубины трещин (рис. 4), а местами и термокарстовых провалов (рис. 5). Поскольку при капитальном ремонте данного участка стабилизационные мероприятия для земляного полотна и его основания не проводились, а по данным бурения 2000 г. здесь залегают многолетнемерзлые дисперсные грунты неустановленной мощности с льдистостью 20–46%, возможно их дальнейшее оттаивание с внезапными просадками земляного полотна и деформациями пути.

Таким образом, для реализации стратегических задач по освоению прогнозируемого грузопотока по БАМ величиной 59,3–92,8 млн т надо прежде всего обеспечить устойчивость и надежность пути на участках развития многолетнемерзлых грунтов, что возможно лишь при своевременном выявлении закономерностей развития мерзлотных условий на трассе, систематическом контроле их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, осуществлении защитных, преимущественно превентивных, мероприятий. Наиболее эффективно это можно осуществить в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга (СИГМ) БАМ, которую необходимо создать с



Рис. 2. Деформации пути на 1834 км ВСЖД (08.10.2010 г.)



учетом концепции СИГМ строящегося железнодорожного пути Беркакит — Томмот — Якутск [9] и опыта ее практической реализации на Цинхай-Тибетской железной дороге [5]. Основные положения концепции СИГМ БАМ изложены далее.

### **Структура и общая схема функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга железнодорожного пути БАМ**

СИГМ БАМ призвана обеспечить систематичность контроля, оценки, прогноза и управления развитием инженерно-геокриологических процессов на трассе железнодорожного пути для обеспечения стабильности земляного полотна и искусственных сооружений. По аналогии с работами [9, 10] ее функционирование может быть представлено в виде ряда упорядоченных процедур, организованных в повторяющиеся циклы по мере получения новых данных (наблюдений, оценки опасности инженерно-геокриологических процессов, прогноза их дальнейшего развития, управления развитием неблагоприятных процессов).

**Структурная схема СИГМ БАМ** включает блоки: наблюдений; сбора, обработки, анализа, оценки и хранения информации; прогноза и разработки противодеформационных мероприятий; проведения защиты.

**Функциональная структура СИГМ БАМ** состоит из нескольких подсистем различного назначения, выполняющих разные функции: иерархической, объектов мониторинга, функциональной, производственных работ, научно-методического обеспечения, технического обеспечения.

**Иерархическая подсистема** предполагает четкую организацию разветвленной сети контрольно-информационных пунктов, соответствующую административно-функциональной организации служб пути ВСЖД и ДВЖД, и отражает три уровня организации системы мониторинга, причем непосредственно в пределах дорог может быть выделено только два уровня, а третий может относиться к Центру обследования и диагностики инженерных сооружений ОАО «РЖД» (Центру ИССО).

Низшим иерархическим уровнем является *участковый (детальный) уровень системы мониторинга*, реализуемый в пределах участков (околотков) пути. Это важнейшее звено СИГМ, т.к. именно в нем непосредственно проводится мониторинг и получается первичная информация о развитии инженерно-геокриологических процессов на трассе магистрали и о воздействии их на земляное полотно и искусственные сооружения.

Средний иерархический уровень — *дистанционный (локальный) уровень системы мониторинга*, реализуемый в пределах дистанции пути. В этом звене, опираясь на сеть участковых звеньев СИГМ и объединяя их, осуществляют контроль инженерно-геокриологических процессов и противомерзлотную защиту земляного полотна и искусственных сооружений на территории дистанции пути.

Высший иерархический уровень — *магистральный (региональный) уровень* входит в компетенцию Центра ИССО, ВСЖД и ДВЖД. На нем осуществляется на-

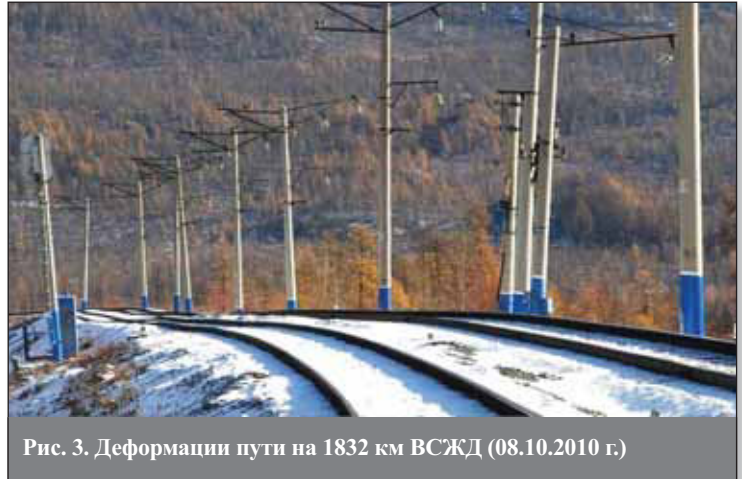


Рис. 3. Деформации пути на 1832 км ВСЖД (08.10.2010 г.)

учно-методическое руководство, координация и контроль функционирования СИГМ БАМ в целом.

В свою очередь, система мониторинга БАМ может войти составной частью в более крупную систему мониторинга опасных инженерно-геокриологических процессов железных дорог Восточной Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и Якутии.

**Объектами мониторинга** должны быть природные и техногенные факторы, влияющие на развитие инженерно-геокриологических процессов, сами эти процессы, противодеформационные сооружения и мероприятия. К числу основных природных факторов, оказывающих непосредственное влияние на развитие данных процессов, относятся метеорологические, геоботанические, гидрологические, гидрогеологические и геокриологические факторы.

Следующим важным элементом структуры системы мониторинга является *подсистема производственных работ*, составляющая производственную базу мониторинга. Эта подсистема должна объединить в себе различные источники получения информации о геокриологической среде и собственно об инженерно-геокриологических процессах и их влиянии на железнодорожный путь, а также различные работы по противомерзлотной защите.



Рис. 4. Трещины на берме с нагорной стороны насыпи на 1674 км ВСЖД (08.10.2010 г.)



Рис. 5. Термокарстовый провал у подошвы насыпи на 1685 км ВСЖД (24.06.2010 г.)

Другой важнейший элемент — это *подсистема научно-методических разработок*, назначением которой является разработка всего комплекса методик, используемых при планировании, организации и функционировании системы мониторинга, проведении производственных работ, анализе и оценке результатов наблюдений, прогнозировании и выдаче управляющих решений. От этого в конечном счете зависят результаты работы всей системы мониторинга, техническая и экономическая эффективность противодеформационных мероприятий.

И, наконец, последним элементом структуры системы мониторинга является *подсистема ее технического обеспечения (техническая база)*. Техническое обеспечение представляет собой наиболее дорогостоящую часть системы мониторинга, поэтому оно должно формироваться наиболее оптимальным образом, без излишних затрат и дублирования. Кроме того, при создании СИГМ следует иметь в виду уже сложившуюся на территории прохождения БАМ сеть режимных наблюдений за компонентами геокриологической среды, в частности за метеоэлементами, и имеющуюся техническую базу соответствующих организаций и предприятий.

В ходе создания СИГМ БАМ, лучше всего в самом начале, следует решить вопрос *организационного обеспечения функционирования системы мониторинга*. Возможно несколько вариантов его решения. Можно выбрать организацию из числа имеющихся и, усилив ее соответствующим образом, поручить ей создание и обеспечение функционирования системы мониторинга, например Центру ИССО в составе Тындинской мерзлотной станции и дорожных геобаз. А можно создать специализированные подразделения по противомерзлотной защите непосредственно в составе служб пути ВСЖД и ДВЖД, функциональная структура которых будет полностью соответствовать задачам системы мониторинга БАМ.

Для эффективного функционирования СИГМ БАМ, особенно в начальный период, целесообразно предусмотреть *научно-методическое и технологическое сопровождение системы мониторинга*. Это может осуществлять, например, ТрансИГЭМ — предприятие по инженерно-геологическому и экологическому мониторингу транспортных сооружений. Режимные наблюдения за динамикой мерзлотной обстановки могла бы проводить Тындинская мерзлотная станция.

### **Комплексная программа организации системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ**

Для практического создания системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ необходимо разработать комплексную программу ее организации (КПО). Основное назначение этой программы — основанно наметить оптимальный состав и последовательность практических действий по организации и функционированию СИГМ БАМ.

В основу научно-методических разработок СИГМ БАМ должны быть заложены следующие основные принципы: системность, комплексность, программно-целевой подход.

*Системность концепции СИГМ БАМ* определяет одновременный и всесторонний подход к анализу природных и техногенных инженерно-геокриологических процессов и их влияния на железнодорожный путь с учетом технологических, экологических, социальных и экономических интересов. Системность природных и техногенных объектов требует рассмотрения каждой проблемы как части более общей, каждого единичного фактора — во взаимосвязи с другими, каждого явления — в системе других явлений, так или иначе модифицирующих его.

*В комплексность концепции СИГМ БАМ* входит одновременный учет развития опасных инженерно-гео-



криологических процессов и ущерба, наносимого ими как непосредственно железнодорожному пути, так и перевозочному процессу в целом.

*Программно-целевой подход СИГМ БАМ* предполагает четкое выделение основных целей, промежуточных и конечных результатов и в итоге — разработку комплекса мероприятий и управляющих решений, направленных на предотвращение, прекращение или ослабление воздействия инженерно-геокриологических процессов на железную дорогу.

Возможный вариант КПО СИГМ БАМ может состоять из введения, четырех разделов, заключения и приложений.

Во введении к программе необходимо было бы дать краткую общую характеристику геокриологической среды на трассе дороги, привести обоснование необходимости организации СИГМ БАМ, указать цель и назначение программы.

В первом разделе следовало бы дать характеристику тех компонентов геокриологической среды и развития инженерно-геокриологических процессов, которые требуют контроля, оценки, прогноза и управления.

Второй раздел целевой программы — методический. Его назначение — раскрыть методику исследований СИГМ БАМ, охарактеризовать систему наблюдений и комплекс применяемых методов. При этом следует разработать ряд важных научно-методических обоснований КПО СИГМ БАМ, основными из которых являются:

- обоснование площади изучения, включающей как минимум территории участков земляного полотна и искусственных сооружений с опасным или потенциально опасным развитием инженерно-геокриологических процессов и явлений;
- обоснование и выбор системы мониторинга на основе анализа и выделения тех компонентов геокриологической среды, которые определяют характер и интенсивность развития инженерно-геокриологических процессов и явлений на той или иной территории, с одновременным учетом природных компонентов и техногенных источников воздействия;
- обоснование расположения наблюдательной сети мониторинга на основе районирования трассы магистрали по опасности развития инженерно-геокриологических процессов и явлений, включающее характеристику природных и техногенных процессов и явлений и оценку их реального и потенциального вредного воздействия (в оптимальном варианте все типологические таксоны районирования подлежат оценке и изучению в системе мониторинга);
- обоснование периода наблюдений в системе мониторинга, определяемого в основном режимом инженерно-геокриологических процессов и степени их опасности на конкретных участках дороги;
- обоснование режима наблюдений за каждым динамичным компонентом природной среды и соответствующим развитием инженерно-геокриологических процессов.

В третьем разделе следует охарактеризовать те вопросы, которые на начальной стадии планирования и организации системы мониторинга еще могут быть не совсем ясны (в частности, не до конца решены научно-

методические, технологические и технические проблемы мониторинга). Здесь же необходимо наметить возможные пути решения таких проблем.

В четвертом разделе программы надо изложить план организационных работ по созданию СИГМ БАМ и ее функционированию. В него должна быть включена последовательная характеристика основных этапов организации мониторинга, а также характеристика функционирующей системы в целом с описанием порядка (правил) оценки и прогноза ситуации, принятия рекомендаций и управляющих решений, особенностей их реализации.

В заключении КПО необходимо указать общие выводы и привести общие рекомендации по организации СИГМ БАМ. Кроме того, целесообразно указать механизмы информационной связи последней с системами мониторинга более высокого ранга или со смежными системами и пути реализации этой связи.

Конечным результатом разработки комплексной программы станет выбор наиболее эффективного способа реализации системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

Реализацию КПО СИГМ БАМ целесообразно осуществлять в три этапа.

Начальный, или подготовительный, этап включает в себя мероприятия, подготавливающие и создающие условия для разработки и обоснования методики наблюдений в СИГМ БАМ. Основными работами на этом этапе являются: изучение фондовых и опубликованных материалов, характеризующих геокриологическую среду и ее компоненты на данной территории; сбор и систематизация имеющейся информации о развитии инженерно-геокриологических процессов на данной территории; сбор информации об участках дороги, нуждающихся в защите; составление карт инженерно-геокриологической изученности территории.

Второй этап — это этап создания информационной базы данных о природной среде и развитии инженерно-геокриологических процессов на трассе дороги. Его задачами являются: обоснование и разбивка наблюдательной сети СИГМ БАМ; выбор и оборудование эталонных (ключевых) участков, наблюдательных площадок, профилей и т.д.; создание банка данных, автоматизированных информационных систем (АИС), локальных и коммуникационных сетей; создание условий для непрерывного информационного обеспечения. Основными видами работ на данном этапе являются: наземные прямые наблюдения за элементами природной среды и развитием инженерно-геокриологических процессов; наземные дистанционные (геофизические) наблюдения; специальное дешифрирование космо- и аэрофотоснимков и применение различных дистанционных методов наблюдений; проведение режимных наблюдений; составление карт типологического инженерно-геокриологического районирования территории, карт типизации техногенных воздействий, карты-схемы организации СИГМ БАМ и др.; техническая реализация АИС; продолжение сбора сторонней информации.

Третий этап — этап функционирования СИГМ БАМ. Его задачами являются собственно цели самой системы мониторинга: фиксация изменений компонен-

тов природной среды и техносферы (железнодорожной и инфраструктуры прилегающей территории), оценка ситуации, ее анализ, моделирование, прогноз и разработка и осуществление мероприятий по управлению инженерно-геокриологическими процессами. Основными видами работ на этом этапе являются: непрерывная обработка и анализ поступающей информации; представление результатов в виде различных «дежурных карт инженерно-геокриологических процессов», регулярных аналитических отчетов, аналитических записок, заключений о состоянии геокриологической среды и т.п.; моделирование различных ситуаций; ситуационное прогнозирование (через какое время возникнет та или иная ситуация); разработка рекомендаций по управлению инженерно-геокриологическими процессами и элементами природной среды; противомерзлотная защита объектов дороги; профилактические работы на наблюдательной сети (ремонт оборудования, наладка, замена питающих элементов,правка и т.д.).

Поэтапная реализация КПО СИГМ БАМ позволит создать систему мониторинга, которая в дальнейшем, по мере накопления данных, может и должна совершенствоваться и уточняться.

### **Заключение**

Таким образом, для обеспечения эффективной эксплуатации Байкало-Амурской железнодорожной магистрали, проходящей по южной окраине области вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов, что предопределяет постоянное изменение мерзлотных условий, необходимы: выявление закономерностей развития мерзлотных условий на трассе, систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги, своевременное осуществление защитных мероприятий. С наиболь-

шей эффективностью это может быть сделано в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

На основе концепции системы мониторинга БАМ, основные положения которой изложены в данной статье, и опыта организации инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна магистрали в 1989–1991 гг. (также освещенного в настоящей публикации) необходимо разработать проект создания системы контроля и превентивного устранения возможных негативных воздействий инженерно-геокриологических процессов и явлений на железную дорогу. В проекте СИГМ БАМ следует проработать организационные, финансовые, методические и технические аспекты инженерно-геокриологического сопровождения эксплуатации железнодорожной магистрали, в т.ч. ее текущего содержания, ремонта, капитального ремонта и реконструкции.

Чем раньше будет создана и начнет функционировать система инженерно-геокриологического мониторинга Байкало-Амурской магистрали, тем более надежной и безопасной она будет и тем меньше будут непроизводительные расходы при ее эксплуатации. Без этого магистраль будет обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения поездов и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

Примером современного подхода к решению проблемы обеспечения стабильности железнодорожного пути в криолитозоне является строительство Цинхай-Тибетской железной дороги (начатое в Китае в 2001 г. и завершенное в 2006 г.) и ее последующая эксплуатация, где широко использовались российские разработки [5, 9]. Китайский опыт также необходимо учесть при создании системы инженерно-геокриологического мониторинга БАМ.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бушин А.В. О задачах по обеспечению надежности земляного полотна железных дорог в современных условиях // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 1–14.
2. Кондратьев В.Г. Геокриологические исследования на переходах газопроводов через долины рек. Новосибирск: Наука (Сиб. отделение), 1988. 192 с.
3. Кондратьев В.Г. Опыт организации инженерно-геокриологического обследования и мониторинга земляного полотна БАМ // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 28–44.
4. Кондратьев В.Г. Опыт строительства и проблемы стабильности земляного полотна Цинхай-Тибетской железной дороги на участках вечной мерзлоты // Транспорт Российской Федерации. 2009. № 6 (25). С. 52–55.
5. Кондратьев В.Г. Цинхай-Тибетская железная дорога — грандиозная попытка решить проблему обеспечения стабильности земляного полотна на вечной мерзлоте // Геотехника. 2011. № 1. С. 4–11.
6. Кондратьев В.Г., Валиев Н.А. Воздействие криогенных процессов и явлений на земляное полотно БАМ на участке Наледный — Хани и возможные пути его защиты // Труды Седьмой научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог»: Чтения, посвященные 106-летию профессора Г.М. Шахунянца. М.: Изд-во МИИТ, 2010. С. 114–117.
7. Кондратьев В.Г., Королев А.А. Противомерзлотная защита. Какой она должна быть // Транспортное строительство. 1988. № 11.
8. Кондратьев В.Г., Королев А.А. Состояние и задачи геокриологического обеспечения строительства // Транспортное строительство. 1988. № 6.
9. Кондратьев В.Г., Позин В.А. Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга строящегося железнодорожного пути Беркамит — Томмот — Якутск. Чита: Забтранс, 2000. 84 с.
10. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
11. Яковлев В.Е. Текущее содержание и капитальный ремонт земляного полотна в условиях БАМ // Железнодорожный транспорт. Путь и путевое хозяйство. М.: ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992. Вып. 5-6. С. 14–28.
12. Kondratyev V.G. Geocryological monitoring of pipelines // Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Permafrost Conference. Washington, D.C.: National Academy Press, 1983. P. 651–655.

# ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КАК ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА

## ENGINEERING-GEOLOGICAL FEATURES OF LITHOTECHNICAL SYSTEMS OF CULTURAL-HISTORIC STRUCTURES AS MONITORING OBJECTS

**КОРОЛЕВ В.А.**

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, korolev@geol.msu.ru

**КУЗНЕЦОВА Н.В.**

Инженер ООО «СК «КРЕАЛ», ndemina2006@yandex.ru

**KOROLEV V.A.**

Professor, department of engineering and ecological geology, geological faculty, M.V. Lomonosov Moscow State University, korolev@geol.msu.ru

**KUZNETSOVA N.V.**

Engineer, OOO «SK KREAL», ndemina2006@yandex.ru

### Ключевые слова:

литотехническая система (ЛТС); историко-культурная литотехническая система (ИЛТС); инженерно-геологические особенности; мониторинг.

### Key words:

lithotechnical system (LTS); historic-cultural lithotechnical system (ILTS); engineering-geological features; monitoring.

### Аннотация

**В статье рассматриваются общие инженерно-геологические особенности литотехнических систем культурно-исторических сооружений на примере ряда уникальных зданий г. Москвы. Приводится определение понятия «историко-культурная литотехническая система» (ИЛТС), выделяются характерные особенности техногенных воздействий на ИЛТС в пределах исторического центра г. Москвы, а также анализируются инженерно-геологические особенности ИЛТС как объектов мониторинга.**

### Введение

В настоящее время в г. Москве (как и во многих других городах России) и особенно в ее историческом центре наблюдаются новые тенденции градостроительства, сочетающего сохранение исторического облика зданий и приспособление их к нуждам современного мегаполиса. Активное освоение подземного пространства в процессе реконструкции исторических зданий и сооружений влечет за собой неизбежное изменение геологической среды, в свою очередь, оказывающее воздействие на их устойчивость. Обеспечение безопасности и устойчивости таких памятников истории и культуры требует создания особой системы мониторинга, учитывающей специфику этих сооружений, инженерно-геологические особенности территории, на которой они расположены, особенности реализованных и планируемых строительных мероприятий, а также ограничения, налагаемые условиями плотной застройки исторического центра города.

Исторические здания и взаимодействующие с ними области литосферы образуют особые историко-культурные литотехнические системы (ИЛТС) [9, 10]. Мониторинг ИЛТС является неотъемлемой частью мероприятий по сохранению культурного наследия и обеспечению устойчивого развития города.

Напомним, что мониторинг литотехнической системы (ЛТС) — это система постоянных наблюдений, оценки, прогноза и управления ЛТС, проводимых по заранее намеченной программе с целью оптимизации ее функционирования в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека [14–16].

На сегодняшний день отсутствует единая теоретическая и методическая база для комплексных исследований в области мониторинга ИЛТС. Исследования, проводимые в рамках решения подобных задач, носят в основном объектно-ориентированный и отраслевой характер, охватывая лишь отдельные компоненты системы «здание — геологическая среда». При этом очень часто здание и геологическая среда (ее компоненты) рассматриваются обособленно друг от друга, а

### Abstract

**The article considers general engineering-geological features of lithotechnical systems of cultural-historic structures by the example of several unique buildings in Moscow. It defines the concept of «historic-cultural lithotechnical system (ILTS)», singles out the characteristic features of anthropogenic impacts on ILTS within the historic center of Moscow, as well as analyzes engineering-geological features of ILTS as monitoring objects.**



не как единая система, что нашло отражение и в действующих нормативных документах.

Поэтому целью данной статьи является определение инженерно-геологических особенностей ИЛТС, которые являются основополагающими при обосновании системы их мониторинга. Основными задачами статьи являются: определение понятия «историко-культурная литотехническая система»; выделение характерных особенностей техногенных воздействий на ИЛТС в пределах исторического центра г. Москвы; выделение инженерно-геологических особенностей ИЛТС центра Москвы как объектов мониторинга.

### **Понятие «историко-культурная литотехническая система»**

Историко-культурная литотехническая система представляет собой особую разновидность литотехнической системы, обладающую рядом характерных черт, которые будут рассмотрены ниже.

ЛТС является результатом взаимодействия литосферы и объектов техносферы. Проблематика ЛТС отражена в работах Т.И. Аверкиной [1], Г.К. Бондарика [4, 5], А.Н. Галкина [6], В.А. Королева [10, 13], В.Т. Трофимова [27] и многих других авторов.

На сегодняшний день существует несколько подходов к трактовке понятия «литотехническая система». Согласно определению В.А. Королева [15], ЛТС — это часть природно-технической системы, включающая подсистему инженерных сооружений и взаимодействующую с ней часть литосферы (геологическую систему). Трактовка этого понятия по В.Т. Трофимову и Д.Г. Зилингу [27] базируется на общности социально-экономических функций взаимодействующих объектов техносферы и литосферы. В работах Г.К. Бондарика, посвященных данной тематике, акцент сделан на таких свойствах ЛТС, как целостность, упорядоченность и эмерджентность, а также на процессах, обуславливающих движение данных систем [5].

В основе определения ИЛТС как специфичной ЛТС, используемого в настоящей статье, лежит формулировка Т.И. Аверкиной, согласно которой ЛТС — это целостное естественно-искусственное образование, представленное взаимодействующими техническими объектами и геологическими телами и массивами [1]. В соответствии с этим под историко-культурной литотехнической системой (ИЛТС) авторами предлагается понимать целостное естественно-искусственное образование, представленное техническими объектами, являющимися особо ценными в историческом и культурном отношении зданиями, сооружениями и их ансамблями, взаимодействующими друг с другом и с геологическими массивами. В таком определении отражена целостность, особенности и происхождение этих систем, а также их функциональное значение.

Как и для ЛТС, в зависимости от уровня в иерархии взаимодействия техногенной и геологической подсистем выделяются элементарные, локальные и региональные ИЛТС. На наш взгляд, ИЛТС более высоких иерархических уровней не существует.

Элементарная ИЛТС состоит из отдельного технического объекта (историко-культурного здания, сооружения, элемента здания) и взаимодействующей с ним обла-

сти литосферы, называемой *сферой взаимодействия* или *областью влияния*. Согласно Г.К. Бондарнику [5] на элементарном уровне ЛТС в пределах геологической подсистемы зоны сферы взаимодействия однородны в отношении инженерно-геологических процессов и составляют связную область геологического пространства.

Локальная ИЛТС представляет собой пространственно-временную совокупность элементарных ИЛТС, сферы взаимодействия которых граничат или пересекаются друг с другом. Сферы взаимодействия элементарных ИЛТС неоднородны в отношении инженерно-геологических процессов и составляют связную область геологического пространства [5]. К локальным ИЛТС относятся архитектурные ансамбли, комплексы исторических зданий, монастыри.

Региональная ИЛТС — это пространственно-временная совокупность локальных ИЛТС, выделяемая в пределах территории исторической застройки города. Примерами могут служить исторические части центра Санкт-Петербурга [29, 30], центра Москвы и др. При этом в пределах региональной ИЛТС области взаимодействия локальных и элементарных ЛТС неоднородны в отношении инженерно-геологических процессов и не составляют связную область геологического пространства [5].

На сегодняшний день нет единой классификации ИЛТС, что во многом обусловлено их многообразием и уникальностью. Одной из наиболее полных подобных классификаций является инженерно-геологическая типизация исторических природно-технических систем на основе применения оценочного инженерно-геологического районирования, предусматривающего оценку сложности инженерно-геологических условий с использованием различных количественных и качественных показателей, выполненная В.Ю. Котовым [18]. Основной целью данной типизации является принятие технических решений по выведению реальных ПТС из аварийного состояния.

Также для систематизации ИЛТС как особой разновидности ЛТС может быть использован подход, предложенный в 2008 г. Г.К. Бондариком и др. [4], при котором для характеристики системы авторы предлагают рассматривать компоненты литосферы, особенности взаимодействия природной и техногенной составляющих системы, экзогенные геологические процессы, границы, режим и методы прогноза их функционирования, а также организационную структуру, в рамках которой осуществляется прогноз функционирования и управления системами.

Схема типизации литотехнических систем, выполненная применительно к ЛТС на территории Белоруссии, разработанная в 2009 г. А.Н. Галкиным [6], учитывает генетический подход, а также структурные, организационные и функциональные особенности ЛТС. Таким образом, вопрос о систематизации ИЛТС пока остается открытым.

### **Факторы формирования и динамика ИЛТС**

ИЛТС не являются статичными системами. На протяжении времени их существования могут сильно меняться природные и техногенные условия. Как следствие этого, техногенная и геологическая подсистемы ИЛТС претерпевают существенные изменения.



Выявление особенностей динамики и эволюции ИЛТС — одна из важнейших задач их мониторинга.

При адаптации к изменению инженерно-геологических условий территории часто происходит изменение структуры памятников истории и культуры: нарушается их конструктивная целостность, появляются отдельные блоки, имеющие собственные режимы вертикальных перемещений и деформаций, перераспределяются нагрузки на фундаменты и грунты основания [24], формируются системы трещин, обеспечивающие наибольшую «приспособляемость» конструкций к уже произошедшим осадкам, и т.п.

Основными факторами, определяющими динамику ИЛТС во времени в городах, являются: возможное изменение окружающей градостроительной среды; изменение состояния грунтового массива основания; разрушение материалов конструкций, в т.ч. фундаментов, вследствие старения; реконструкция, реставрация и приспособление памятников истории и культуры к новым потребностям, часто осуществляемые в ущерб их сохранности, и др. Рассмотрим особен-

ности этих факторов на примере некоторых объектов г. Москвы.

**Изменение градостроительной среды.** Исторический центр г. Москвы за свою многовековую историю претерпевал многочисленные перепланировки и перестройки. Активная урбанизация привела к изменениям его первоначального облика и структуры поверхности территории, на которой расположены исторические здания и сооружения. Вплоть до XV–XVI вв. здания и сооружения «встраивались» в существующий природный ландшафт, «подчиняясь» сложившимся в нем взаимосвязям [3]. Начиная с XV в. все большее значение приобретает силовая функция в использовании ландшафтов для утилитарных целей. Возрастающая концентрация населения и стремление к более правильной геометрии поселений привели к практике искусственного выравнивания рельефа [18]. Сформировались новые формы мезо- и микрорельефа, несвойственные естественной обстановке.

С течением времени исторические здания окружила более современная плотная городская застройка, по-



**Рис. 1.** Схематический план района Театральной площади XVIII в. на фоне контуров современных зданий [18]: 1 — церковь Анастасии с кладбищем; 2 — казенный питейный дом «Петровское кружало»; 3 — двор князей Черкасских; 4 — двор попа церкви Анастасии; 5 — двор князя Туркестанова; 6 — церковь Спаса в Копье с кладбищем; 7 — двор князя Лобанова-Ростовского (купленный Медоксом); 8 — Сенатская типография; 9 — двор секретаря магистрата Иванова; 10 — банный двор с большим колодцем; 11 — земля, отданная актеру Сандунову; 12 — двор князя Егупова-Черкасского; 13 — казенный питейный дом; 14, 15 — место бывшего Заиконоспасского бульварка Петра I



степенно осваивалось подземное пространство. Характерным примером развития городской застройки в центральной части города является район Театральной площади. На рисунке 1 приведен схематический план района Театральной площади XVIII в. на фоне контуров современных зданий [25, 26].

За период с XVIII по XX в. на участке современной Театральной площади река Неглинная, протекавшая на месте зданий ЦУМа и Малого театра, была сначала отведена в отдельный канал (1789–1791 гг.) с засыпкой старого русла, а затем заключена в подземную трубу (1817–1819 гг.). Пожары в XVIII и XIX вв. неоднократно уничтожали всю застройку площади [3, 11]. После пожара 1812 г., когда все здания сгорели и больше не восстанавливались, на этом месте была спланирована площадь в современных ее очертаниях. Ей попытались придать форму почти правильного вытянутого четырехугольника, для чего с южной стороны был разбит треугольный сквер. С двух продольных сторон площадь замыкали четыре однотипных здания, из которых до наших дней сохранилось только здание Малого театра.

Здание Государственного академического Большого театра (ГАБТ) — архитектурная доминанта Театральной площади — за время своего существования многократно горело, перестраивалось и реконструировалось. В настоящее время в 20 м от него, за улицей Петровка, расположено 7-этажное здание ЦУМа с двухэтажной подземной частью. Вплотную к северному фасаду дома Хомякова примыкает 6-этажное здание Речфлота, также имеющее подземное пространство. С юго-запада участок ограничен зданиями вспомогательного корпуса и новой сцены ГАБТ, с юго-востока — Театральным сквером, с северо-востока — ул. Петровкой.

**Изменение состояния грунтового массива.** Активная застройка исторического центра города, увеличение этажности зданий, освоение подземного пространства, в т.ч. возведение зданий с многоуровневыми подземными частями, строительство метрополитена, прокладка новых коммуникаций, влекут за собой изменение состояния грунтовых массивов оснований исторических зданий, в первую очередь напряженно-деформированного состояния грунтов и гидрогеологической обстановки [15]. При строительных работах (выемке грунтов, возведении ограждающих конструкций и др.) происходит изменение геологических условий территории, т.е. фактически создается новый геотехногенный массив, где среди пород в их естественном залегании располагаются железобетонные конструкции ограждающих сооружений, подземные части зданий и т.п. [17, 20].

Урбанизация сказывается на изменении общего баланса подземных вод: в результате различных техногенных воздействий происходит изменение естественных условий питания, движения и разгрузки, взаимосвязи водоносных горизонтов, а также качества воды. Изменение гидродинамического режима территории влечет за собой изменение напряженно-деформированного состояния грунтов основания (уменьшение гидростатического давления, осушение или, наоборот, обводнение грунтов).

Нарушение природной гидродинамической обстановки приводит к изменению напряженного состояния водовмещающих толщ и, как следствие, к уплотнению пород в пределах образующихся депрессионных воронок, что, в свою очередь, служит причиной оседания

поверхности земли и многочисленных нарушений в техносфере города, а также активизации окислительных процессов в увеличившейся зоне аэрации. Нарушение режима первого от поверхности горизонта подземных вод при определенных геологических условиях приводит к поднятию его уровня и подтоплению территории, затоплению подклетов и подвалов зданий [15, 17, 20]. При этом увеличение влажности грунтов влечет за собой снижение прочностных и деформационных свойств песчано-глинистых отложений.

**Разрушение материалов фундаментов.** Техногенные воздействия на ИЛТС часто приводят к увеличению агрессивности грунтов и подземных вод (в первую очередь первого от поверхности водоносного горизонта), часто непосредственно соприкасающихся с фундаментами сооружений. Подобные преобразования в пределах ИЛТС совместно с изменениями гидрогеологических условий участка (например, с понижением или повышением уровня подземных вод, образованием «верховодки») инициируют или интенсифицируют эволюционные преобразования оснований исторических сооружений — разрушение (в первую очередь в результате выщелачивания) материалов фундаментов, деструкцию деревянных свай и образование полостей-стаканов, механизм которых подробно рассмотрен в работах Е.М. Пашкина [22].

Не менее важную роль в деструкции фундаментов и подземных частей исторических зданий играет деятельность в грунтах микроорганизмов [8, 15]. Комплексы микроорганизмов, развивающиеся в подземном пространстве города, оказывают агрессивное воздействие на старые деревянные и кирпичные конструкции, известняковые фундаменты и т.п.

**Реконструкция, реставрация и приспособление под другие цели зданий — памятников истории и культуры.** Практически каждое историческое здание на протяжении своего существования подвергалось ремонту, реставрации, реконструкции, разнообразным перестройкам, иногда многократным. В настоящее время в Москве активно развивается градостроительство, при котором сочетаются сохранение исторического облика зданий и приспособление их к современным нуждам, что предполагает освоение подземного пространства, т.е. фактически расширение ИЛТС, во-первых, в результате увеличения техногенной подсистемы за счет геологической подсистемы ИЛТС, а во-вторых, за счет расширения границ области влияния. (Вопрос о целесообразности подобной тенденции и ее правомерности и обоснованности в отношении сохранения памятников культуры представляет собой особую проблему, которая здесь не обсуждается.) Примерами подобных ИЛТС в Москве являются Большой театр, комплекс зданий Московской государственной консерватории, Государственного исторического музея и др. Так, например, реализованный недавно проект реконструкции и строительства с одновременным сохранением надземной части здания ГАБТ является уникальным и не имеет аналогов в отечественной и мировой практике (рис. 2).

Неотъемлемой частью обоснования мониторинга ИЛТС является анализ техногенных воздействий на изучаемой территории.

В пределах исторического центра Москвы имеют место типичные для городских территорий техноген-



Рис. 2. Здание ГАБТ в Москве во время реконструкции

ные воздействия [15], однако наличие плотной исторической застройки, большого количества подземных сооружений, в т.ч. метрополитена, различных коммуникаций, в т.ч. старых и неисправных, приводят к тому, что эти воздействия приобретают специфические черты. Причиной многочисленных деформаций исторических зданий также является то, что они изначально не были рассчитаны на современные статические и динамические нагрузки.

Наиболее распространенными воздействиями на геологическую среду в пределах исторической части города являются: статические нагрузки на толщу пород от веса зданий и сооружений, откачка подземных вод, подтопление, динамические воздействия, образование различных техногенных физических полей (акустического, вибрационного, температурного, наведенных электрического и электромагнитного и др.), а также химическое и биохимическое загрязнение [8, 15, 20, 30].

## Инженерно-геологические особенности ИЛТС как объектов мониторинга

Несмотря на большое разнообразие и уникальность особо ценных историко-культурных объектов, ИЛТС имеют ряд основополагающих черт и характерных инженерно-геологических особенностей, благодаря которым они занимают особое место среди литотехнических систем. Эти особенности должны лежать в основе разработки схем организации их мониторинга.

Всю совокупность выделенных авторами характерных инженерно-геологических особенностей ИЛТС можно условно разделить на две структурные группы — для техногенной и геологической подсистем соответственно (табл. 1).

Выделенные в таблице 1 инженерно-геологические особенности зависят от характера и уровня взаимодействующих объектов техносферы и литосферы, т.е. от иерархического уровня ИЛТС. Разделение на группы здесь достаточно условно, т.к. большинство особенностей геологической подсистемы формируется под воздействием технических подсистем самой ИЛТС или других ЛТС города.

К первой структурной группе относятся уникальность, возраст, конструктивные особенности и особенности эксплуатации техногенной подсистемы ИЛТС. Многие ИЛТС (центра Москвы и других регионов) являются уникальными как в связи с их исторической ценностью, так и с точки зрения технических решений, которые были применены при возведении и последующих перестройках и реконструкциях зданий и сооружений. Это диктует необходимость повышенных требований и особого подхода к инженерно-геологическим изысканиям на исторических территориях и их мониторингу.

Таблица 1

Характерные инженерно-геологические особенности культурно-исторических литотехнических систем		
Уровни ИЛТС	Инженерно-геологические особенности	
	техногенной подсистемы ИЛТС	геологической подсистемы ИЛТС
Элементарный	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) уникальность сооружения и его фундаментов;</li> <li>2) возраст сооружения и его фундаментов;</li> <li>3) конструктивные особенности сооружения и его фундаментов;</li> <li>4) особенности эксплуатации сооружения;</li> <li>5) особенности реконструкции и ремонта фундаментов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) наличие техногенных грунтов, в т.ч. «культурных слоев», археологически значимых грунтов;</li> <li>2) изменение гидрогеологических условий грунтов основания фундамента;</li> <li>3) изменение прилегающего рельефа;</li> <li>4) изменение состава, структуры, состояния и свойств грунтов основания;</li> <li>5) активизация инженерно-геологических процессов, включая микробиологические</li> </ol>
Локальный	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) уникальность комплекса сооружений;</li> <li>2) возраст взаимодействующих зданий;</li> <li>3) конструктивные особенности комплекса взаимодействующих сооружений и их фундаментов;</li> <li>4) особенности эксплуатации комплекса сооружений, а также их ремонта и реконструкции и их фундаментов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) наличие комплекса техногенных грунтов;</li> <li>2) локальное изменение гидрогеологических условий;</li> <li>3) изменение рельефа территории комплекса;</li> <li>4) изменение состава, состояния и свойств грунтовых толщ оснований комплекса сооружений;</li> <li>5) активизация парагенеза инженерно-геологических процессов</li> </ol>
Региональный	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) уникальность застройки региона;</li> <li>2) возраст комплекса локальных ИЛТС региона;</li> <li>3) региональные конструктивные особенности комплекса взаимодействующих сооружений;</li> <li>4) региональные особенности эксплуатации сооружений, их ремонта и реконструкции</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) наличие комплекса техногенных грунтов;</li> <li>2) региональное изменение гидрогеологических условий;</li> <li>3) изменение рельефа региона;</li> <li>4) региональное изменение состава, состояния и свойств грунтов;</li> <li>5) региональные особенности комплекса инженерно-геологических процессов</li> </ol>



ИЛТС — это литотехнические системы, характеризующиеся длительным и сверхдлительным временем существования. Согласно работе Г.К. Бондарика [4], основными этапами существования ЛТС являются их развитие, функционирование и ликвидация. Для ИЛТС ликвидация не должна происходить, а во время функционирования системы необходимо выделять возраст ее зрелости и возраст старения (по преобладанию эволюционных процессов), а также периоды эксплуатации, кризисных состояний и реконструкции [23].

При прочих равных условиях вероятность наступления кризисного периода для ИЛТС выше, чем для обычных ЛТС. В связи с этим мониторинг данных систем должен осуществляться как во время реконструкции и в кризисные периоды (как и для обычных ЛТС), так и в периоды эксплуатации для предотвращения развития деформаций, которые могут нанести существенный урон историческим зданиям. Подобный подход в определенной степени нашел отражение в действующих нормативных документах, в которых закреплены увеличенные сроки проведения мониторинга по сравнению со зданиями типовой массовой застройки.

По возрасту здания (комплекса зданий) можно сделать ориентировочное заключение о технических решениях, конструктивных особенностях и строительных материалах, используемых при его строительстве. В пределах локальных и региональных ИЛТС взаимодействующие здания часто имеют различный возраст.

Подавляющее большинство исторических зданий в центре г. Москвы относится к периоду XVIII — начала XX в., для которого характерны ассимиляция русским зодчеством опыта европейской архитектуры, введение проектного чертежа, применение образцового проектирования, архитектурного формообразования и регулярного градостроительства, совершенствование и усложнение композиционных решений [22].

Конструктивными особенностями техногенных подсистем ИЛТС, тесно связанных с длительным временем их существования, является «унаследованность» и «многослойность»: многие исторические здания располагаются на месте более ранних сооружений.

Облик исторических зданий и их комплексов на протяжении истории их существования может меняться до неузнаваемости в результате многочисленных перестроек, перепланировок, реконструкций, пристроек, документальные подтверждения чего часто отсутствуют. Фундаменты даже в пределах одного исторического здания могут существенно различаться между собой по геометрическим параметрам и глубине заложения в результате одновременности возведения и неоднократности работ по подведению новых и ремонту старых фундаментов в различных частях сооружения.

Подобное развитие системы приводит к тому, что с течением времени распределение нагрузок по подошве фундамента может существенно изменяться (например, в результате разного давления, оказываемого на грунты основания основным зданием и, как правило, более легкими пристройками). Формируются зоны концентрации напряжений, приуроченные к погребенным фундаментам более ранних построек, сооружение перестает быть целостной системой — в его пределах формируются отдельные блоки, что приводит к развитию неравномерных деформаций.

Выявление разновозрастных слоев и блоков является трудоемкой задачей, однако ее решение необходимо для проектирования оптимальной сети режимных наблюдений за изучаемыми ИЛТС.

Региональные конструктивные особенности комплексов взаимодействующих сооружений во многом обуславливаются региональными инженерно-геологическими условиями и исторически сложившейся строительной практикой.

Еще одной чертой техногенной подсистемы являются особенности эксплуатации сооружения на протяжении всего времени существования ИЛТС. Функциональное назначение и режим эксплуатации (статические и динамические нагрузки, тепловой режим, водопотребление и т.п.) являются показателями техногенных воздействий, оказываемых на геологическую среду. Следует отметить, что функциональное назначение исторических зданий может изменяться с течением времени. Особенно существенно это проявляется для исторических зданий бывших заводов и фабрик (например, для здания фабрики «Красный Октябрь» в г. Москве).

Не менее, а иногда и более важными являются особенности геологической подсистемы ИЛТС, которым часто уделяется недостаточное внимание при организации мониторинга. В центральной части Москвы среди них следует выделить: наличие техногенных грунтов в верхней части разреза; сильные изменения в гидрогеологическом режиме территории, составе, состоянии и свойствах грунтового массива основания, рельефе; активизацию и развитие инженерно-геологических процессов и др.

При организации и проведении мониторинга ИЛТС необходимо учитывать, что подземное пространство центра города представляет собой сложно организованное неоднородное геологическое пространство, включающее наряду с природными горными породами в естественном залегании невыдержанные по мощности и составу техногенные образования. При этом для обоснования мониторинга ИЛТС техногенные грунты, с одной стороны, выступают в качестве вмещающей среды и основания инженерных сооружений, а с другой — сами являются объектами, имеющими историко-культурную значимость (толща «культурного слоя» часто имеет археологическую ценность).

Формирование техногенных грунтов происходит в результате техногенного литогенеза, основными чертами которого в пределах исторической части города являются процесс накопления различного рода насыпного материала на поверхности земли под влиянием хозяйственно-бытовой деятельности человека и искусственное изменение природных грунтов при строительстве и благоустройстве территории [17, 21]. При этом, если до начала XX в. воздействию хозяйственной деятельности человека подвергались в основном грунты, залегающие в приповерхностном слое, то с началом активного освоения подземного пространства и прокладкой коммуникаций, в т.ч. проходкой выработок метрополитена, расширением возможностей технической мелиорации и т.п., изменениям стали подвергаться более глубокие слои литосферы, в результате чего началось формирование особой разновидности геологических массивов — геотехногенных массивов.

За длительную историю Москвы были сформированы неоднородные по составу и мощности массивы техногенных грунтов (в т.ч. толщи «культурного слоя»). Распространение культурного слоя в центральной части г. Москвы с указанием начала его формирования приведено на рисунке 3.

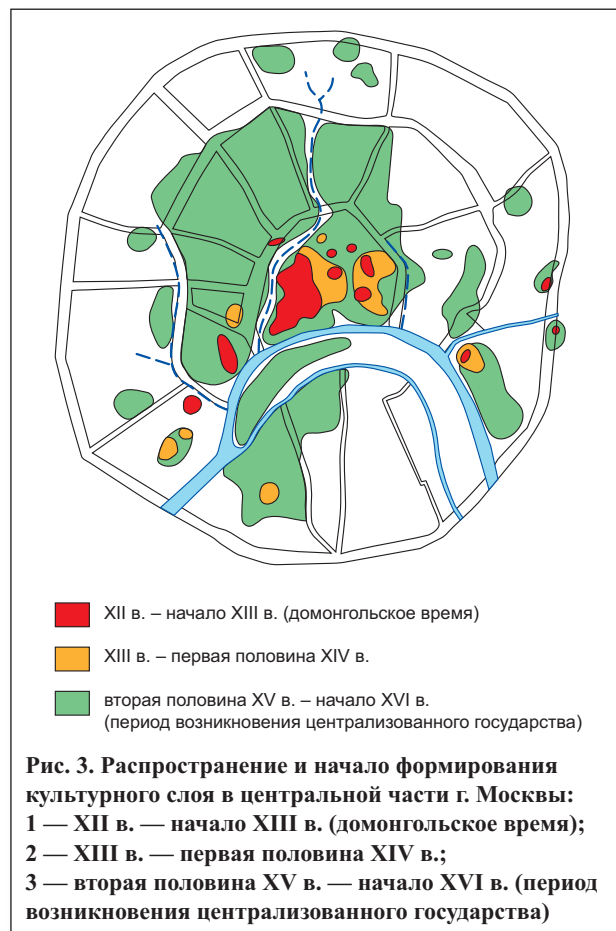
Техногенные грунты культурного слоя, относясь к специфическим в генетическом отношении образованиям, характеризуются сложным и неоднородным составом, высокой вертикальной и горизонтальной изменчивостью строения и состояния, определяющимися не только характером техногенного воздействия, но и геологическими факторами (геоморфологическим строением местности, определяющим вертикальную планировку города; литологическим составом пород; гидрогеологическими условиями, определяющими глубину заложения фундаментов и подвальных помещений, развитие процессов подтопления и пучения и т.д.) [21]. Площадная изменчивость техногенных грунтов проявляется в пределах как отдельных зданий, так и их комплексов.

Свойства техногенных грунтов могут существенно отличаться от вмещающих и подстилающих их пород. Важным фактором, оказывающим сильное влияние на величины их физических и физико-механических характеристик, является наличие в их составе органических веществ (остатков растений, древесины, отходов жизнедеятельности и т.п.). Согласно данным лабораторных исследований, содержание органических веществ в техногенных грунтах может изменяться от 2 до 80% (обычно оно составляет 5–10%) [18]. Для них характерны: более низкая плотность, более высокая пористость, невысокие модули деформации и сопротивление срезу [21].

Техногенные отложения выступают одновременно как составляющая часть ИЛТС и как фактор функционирования техногенной подсистемы. С ними связан парагенезис таких инженерно-геологических процессов, как: доуплотнение техногенных грунтов под действием статических нагрузок от зданий; разуплотнение под воздействием динамических нагрузок, в первую очередь от транспорта; разложение органических веществ; развитие процессов, связанных с изменением температурно-влажностного режима (набухания, усадки, промерзания, пучения, оттаивания, диффузии, осмоса, капиллярного движения поровых растворов, подземной коррозии строительных материалов и конструкций [21]); развитие суффозии; изменение гидрогеологических и гидрохимических условий.

Техногенные грунты играют большую роль в обеспечении сохранности и устойчивости исторических зданий. Наличие их в основаниях ввиду особенностей их состава, строения и свойств очень часто служит причиной развития неравномерных деформаций сооружений. При разработке системы мониторинга в первую очередь должны быть учтены: наличие техногенных грунтов под подошвой здания; распределение мощностей техногенных грунтов в пределах площадки здания; степень их уплотнения; содержание органических веществ.

Еще одним ключевым фактором, относящимся к группе особенностей геологической подсистемы ИЛТС, является гидрогеологический режим территории. Непосредственное влияние на ИЛТС оказывают подземные воды неглубокого залегания. Также существ-



венна роль вод зоны активного водообмена, которые определяют условия и динамику экзогенных геологических процессов [2, 15].

Исторический центр г. Москвы является территорией с сильно нарушенным гидрогеологическим режимом. Высокая плотность застройки и большая площадь асфальтированных поверхностей существенно изменили режим подземных вод. В результате разнонаправленных техногенных воздействий были изменены естественные условия их питания, движения, разгрузки, их качество, взаимосвязь водоносных горизонтов. В рамках обоснования мониторинга наиболее важными являются гидродинамический и гидрогеохимический аспекты проблемы [15, 22, 28].

В целом природные условия центральной части г. Москвы характеризуются хорошей дренируемостью территории, что связано с преобладанием песчаных разностей в верхней части геологического разреза и развитием трещиноватых известняков и мергелей в толще каменноугольных пород [20].

В результате многочисленных планировок дневной поверхности (изменений мезо- и микрорельефа) были изменены естественные условия питания и разгрузки подземных вод. На них влияют также утечки из водонесущих коммуникаций (водопровода, канализации, ливневки), озеленение и поливы зеленых насаждений, перераспределение снега при очистке проездов и тротуаров, фильтрация из декоративных водоемов и фонтанов [20]. Значительная часть элементов эрозионной сети, ранее выступавших в качестве естественных дренажей, на сегодняшний день ликвидирована, в результате чего разгрузка поверхностных вод осуществляется через развитую сеть дождевой канализации.



Одной из важнейших причин изменения гидродинамического режима территории Москвы и особенно центральной ее части является создание подземных сооружений и сопровождающий их строительство и эксплуатацию водоотлив. Так, суммарная откачка из горных выработок крупнейшего подземного сооружения города — метрополитена — достигает 180 тыс. л/сут, а снижение уровня подземных вод достигает 30 м и более. Само по себе наличие сооружений в подземном пространстве города является преградой для естественного потока подземных вод, меняющей конфигурацию потока в плане (вызывающей барражный эффект).

Для элементарных ИЛТС определяющим является изменение гидрогеологических условий фундамента, связанное в первую очередь с формированием «верховодки» — распространенного явления для ЛТС исторического центра. Подземные воды типа «верховодки» имеют локальное распространение и приурочены к линзам и прослоям слабопроницаемых грунтов в пределах зоны аэрации. Они непостоянны во времени и могут возникать в многоводные периоды года и в результате утечек из водонесущих коммуникаций. В связи с формированием «верховодки» в пределах сферы взаимодействия памятника архитектуры с литосферой возникают локальные участки грунтов с повышенной влажностью, а следовательно, с пониженной (относительно основного массива) несущей способностью, что часто вызывает неравномерные деформации исторических зданий [18]. В связи с сезонностью этого явления при обосновании мониторинга должны быть не только учтены существующие линзы слабопроницаемых грунтов, но и выделены участки, на которых они потенциально могут сформироваться.

Специфическим гидрогеологическим образованием, характерным для исторических территорий, являются также так называемые «фундаментные воды», формирующиеся в теле фундамента в результате прямого попадания в него поверхностного стока, перетока в него вод из рыхлых отложений культурного слоя, утечек из водонесущих коммуникаций, миграции влаги из грунтов к фронту промерзания [18] и т.п.

Подземные воды, приуроченные к четвертичным отложениям, в той или иной степени загрязнены и характеризуются повышенными (по сравнению с нормативными) величинами минерализации, общей жесткости, содержания нитратов и железа. Техногенное влияние на состав подземных вод проявляется в отсутствии характерной для всего Московского артезианского бассейна вертикальной гидрохимической и температурной зональности в пределах зоны активного водообмена [20].

Формирование химического состава грунтовых вод в пределах исторического центра в значительной степени определяется влиянием утечек из канализационных коллекторов. В результате воздействия сточных вод увеличиваются жесткость воды, концентрации соединений азота, хлоридов, сульфатов, органических веществ. Повышенное содержание хлоридов в зимний период связано с воздействием применяемых антигололедных реагентов.

Влияние городской инфраструктуры сильно сказывается на температурном режиме зоны активного водообмена. На территории г. Москвы условно выделяются районы со слабо нарушенным, нарушенным и

сильно нарушенным температурными режимами, в которых температура грунтовых вод лежит в пределах 7–8, 8–12 и более 12°C соответственно.

На основании изучения уровневого и температурного режимов подземных, в первую очередь грунтовых, вод, а также изменения их химического состава можно сделать выводы о техногенных воздействиях, оказываемых на ИЛТС, в связи с чем данные исследования должны обязательно включаться в программы мониторинга независимо от того, планируется при строительных работах изменение гидрогеологического режима территории (например, возведение ограждающих конструкций, организация дренажа и т.п.) или нет.

За длительную историю Москвы в результате многочисленных перепланировок (проходки рвов, например, глубиной 12 м вокруг Кремлевской стены, засыпки оврагов и русел рек, осушения болот и т.п.), возведения сооружений и разнообразных перестроек (в т.ч. масштабного строительства после частых пожаров, среди которых одним из самых крупных являлся пожар 1812 г.) рельеф территории центральной части города существенно изменился. Подобные изменения проявляются в формировании его новых микро- и мезоформ, накоплении толщ насыпных грунтов большой мощности, трансформации естественных областей питания, движения и разгрузки подземных вод. Существенным аспектом трансформации рельефа территорий, прилегающих к историческим зданиям, является применение искусственных покрытий (брусчатки, асфальта и т.п.).

Характерным примером формирования толщи насыпных отложений как результата развития застройки территории и многочисленных перепланировок является Театральная площадь. Основные изменения структуры поверхности этого участка связаны с постепенной ликвидацией русла и каптажом р. Неглинной, которая, как уже отмечалось, текла там, где сейчас стоят здания ЦУМа и Малого театра, пересекала Театральный проезд у гостиницы «Метрополь» и далее поворачивала через Театральную площадь к площади Революции, а затем к Александровскому саду (см. рис. 1). В результате многолетнего городского строительства естественный рельеф здесь не сохранился, а конфигурация отложений насыпной толщи на участке в плане следует в основном очертаниям канализированных и спланированных оврагов и долины реки. Мощность насыпных отложений обычно увеличивается от краевых участков к середине долины, то есть к руслу. Мощность толщ техногенных отложений обычно составляет от 1,7 до 5,0 м, а на отдельных участках в русле реки Неглинной превышает 10–11 м.

Для центральной части г. Москвы характерна высокая изменчивость геологического и геоморфологического строения. В историческом центре представлены все типы геоморфологических элементов (пойма, надпойменные террасы, моренная и флювиогляциальная равнина), распространенных на территории города, однако основным геоморфологическим элементом является долина р. Москвы [20].

Согласно карте инженерно-геологического районирования территории г. Москвы [7], основная часть исторического центра города располагается в пределах района № 10 — территории глубоких доледниковых эрозионных врезов, выполненных нижнечетвертичными аллювиальными разнозернистыми песками, иногда

глинами, суглинками и супесями общей мощностью до 15 м. На древнеаллювиальных песках залегают флювиогляциальные и озерные пески, перекрываемые аллювиальными песками поймы или надпойменных террас. Общая мощность четвертичных песков в районах переуглублений достигает 40–60 м. В пределах древних доледниковых долин четвертичные отложения залегают непосредственно на каменноугольных карбонатных породах. За пределами древних погребенных долин сохранились юрские глины, на поверхности которых залегают четвертичные, преимущественно песчаные отложения мощностью до 25 м [20].

Однако в контексте обоснования мониторинга ИЛТС определяющую роль играет не столько конкретный тип геологической среды, сколько такие особенности геологического строения, как состав и мощность техногенных грунтов, наличие слабых грунтов (органоминеральных грунтов, набухающих глин, рыхлых песков и т.п.) в сжимаемой толще основания.

Широко распространенной особенностью геологической подсистемы ИЛТС является наличие существенных изменений в составе, состоянии и свойствах грунтов основания по сравнению с таковыми до постройки здания. Устройство фундаментов, прокладка коммуникаций, неизбежные потери воды из водопроводных сетей нарушают гидрогеологические условия и естественный тепловой режим участка. Под влиянием дополнительных (к природным) нагрузок от сооружения в его основании происходят изменения естественного напряженного состояния грунтов, меняются их физико-механические свойства и природное сложение [12].

Процессы, происходящие в основаниях зданий, как качественно, так и количественно зависят от продолжительности, интенсивности действия нагрузки и от ряда других факторов. В процессе длительного уплотнения сжимаемой толщи основания в ней возникают зоны, параметры которых зависят от типа грунта, его начальной плотности, величины уплотняющего давления, характера изменения этого давления за период эксплуатации и пр. [12].

Важным фактором изменения состояния и сложения грунтов является разуплотнение песчаных отложений в результате их возможного суффозионного выноса (например, при утечках из водонесущих коммуникаций) и действия динамических нагрузок (от работы метрополитена, наземного транспорта, строительной техники, промышленного оборудования и т.п.). На изменение состояния грунтового массива также влияет применение методов технической мелиорации (усиление оснований и фундаментов с использованием свай, закрепление грунтов методом цементации, силикатизации и др.).

Инженерно-геологические процессы играют важную роль в функционировании литотехнических систем. Те из них, которые являются результатом взаимодействия компонентов ИЛТС, в отличие от развивающихся на изучаемой территории природных экзогенных процессов, связаны с антропогенной деятельностью, распространены локально, характеризуются более высокой интенсивностью. Очень часто результаты действия инженерно-геологических процессов

проявляются только на поздних этапах существования ИЛТС в виде деформаций сооружения [22]. К их особой категории относятся процессы, ранее протекавшие в пределах изучаемой территории и существенно интенсифицировавшиеся в результате техногенных воздействий. Следует отметить, что историческим зданиям ввиду их возраста и значительного физического износа могут нанести существенный урон даже процессы, не оказывающие особого воздействия на современные сооружения.

Поэтому при обосновании мониторинга должны быть выделены основные процессы, влияющие на сохранность ИЛТС и определяющие динамику ее развития. Программа мониторинга должна включать в себя риск-анализ и прогноз развития опасных (для данной ИЛТС) инженерно-геологических процессов.

В пределах исторического центра г. Москвы основные геологические риски связаны с развитием карстовых и суффозионных процессов, подтоплением, криогенным пучением грунтов слоя сезонного промерзания, образованием техногенных и других слабых грунтов (например, при разуплотнении песчаных отложений в результате динамических воздействий или увеличении влажности грунтов при образовании техногенного водоносного горизонта), а также с формированием различных техногенных физических полей.

На территории г. Москвы сформировалось два типа карстовых форм: (1) в растворимых породах; (2) в нерастворимых породах, перекрывающих закарстованные формы [19]. При этом активизация современных карстовых процессов обусловлена интенсивной эксплуатацией каменноугольного водоносного горизонта.

Наибольшую опасность для зданий и сооружений представляют формы второй группы, проявляющиеся на поверхности в виде провалов и оседаний земной поверхности. Причиной таких деформаций является суффозионный вынос четвертичных песков в карстовые полости, каверны и трещины. На участках, где закарстованные известняки отделены от четвертичных песков слабопроницаемым слоем глин, происходит разрушение этого слоя, вызывающее начало суффозии, и появление провала на поверхности. Установлено, что разрушение глинистого слоя происходит под действием гидродинамического давления [19].

Согласно карте карстовой и суффозионной опасности г. Москвы, большая часть исторического центра (особенно тальвеги и борта погребенных речных долин, в пределах которых размыт региональный юрский водоупор) является потенциально опасной в этом отношении [27]. При детальном анализе инженерно-геологических условий возможно разделение участка, на котором расположено здание или комплекс зданий, на потенциально опасные и неопасные участки.

Другим опасным инженерно-геологическим процессом, развитым в пределах исторического центра г. Москвы, является подтопление, происходящее в результате техногенного подъема уровня грунтовых вод. Подтопление территорий может приводить к ухудшению прочностных и деформационных свойств грунтов в результате повышения влажности в основаниях сооружений, активизации карстовых и суффозионных процессов из-за увеличения градиентов и скоростей фильтрационных потоков [30], затоплению подвалов,



выщелачиванию и разрушению материалов фундаментов исторических зданий, выполненных преимущественно из известняка. Основной причиной развития подтопления в пределах исторического центра города являются утечки из водонесущих коммуникаций, которые на участках старой застройки характеризуются высокой степенью износа [20].

### **Оценка инженерно-геологических условий для организации мониторинга ИЛТС**

Выделенные инженерно-геологические особенности ИЛТС позволяют обосновать оценку инженерно-геологических условий для оптимизации мониторинга ИЛТС на первоначальном этапе, используя определенные таких базовых элементов, как:

- возраст здания;
- функциональное назначение здания;
- степень измененности технической подсистемы (с выделением ее первичных элементов, дошедших до наших дней без изменения со времени своей постройки, и вторичных, измененных в результате реконструкции или перестройки);
- состояние техногенной подсистемы;
- степень измененности геологической подсистемы (изменение рельефа, геологического строения, в т.ч. накопление техногенных грунтов, изменение гидрогеологических условий, активизация и развитие инженерно-геологических процессов).

В качестве примера можно привести оценку инженерно-геологических условий для ИЛТС ГАБТ РФ (до реконструкции).

Современный облик Большого театра был сформирован в 1856 г. в результате перестройки архитектором А.К. Кавосом после пожара 1853 г. здания постройки О.И. Бове (1824 г.), при строительстве которого, в свою очередь, были частично использованы остатки стен и фундаментов Петровского театра («театра Медокса»), открытого в 1780 г. и сгоревшего в 1805 г.

Здание ГАБТ является типичным примером «многослойности» техногенной подсистемы ИЛТС. В связи с многочисленными перестройками фундаменты, возведенные и реконструированные в разное время, имеют различные геометрические очертания и глубину заложения. По результатам обследования основания и фундаментов здания, проведенного ООО «СК КРЕАЛ», глубина заложения фундаментов стен изменяется от 1,8 до 6,5 м, внутренних стен и колонн — от 0,1 до 5,5 м от уровня цокольного этажа или пола подвала. При инженерно-технических изысканиях были обнаружены остатки фундаментов 1780 г. и фундаменты заложения 1824, 1856, 1923, 1930 и 1957 гг. Грунты основания нагружены неравномерно и частично перегружены (по состоянию до реконструкции).

Территория, занимаемая зданием ГАБТ, и прилегающие к ней участки располагаются на сочленении поймы и второй надпойменной террасы р. Неглинной. В палеогеоморфологическом отношении восточная и центральная части здания театра находятся в пределах доледникового водораздела, а юго-западная — над склоном погребенной палеодолины. Русло палеодолины выработано в каменноугольных карбонатных породах, а доледниковый водораздел слагается юрскими

глинистыми отложениями мощностью до 10–11 м. Ориентировка палеодолины — с севера на юг.

В геологическом строении территории принимают участие отложения каменноугольной, юрской и четвертичной систем. Схематический разрез участка застройки и прилегающей к ГАБТ (до реконструкции) территории по результатам инженерно-геологических изысканий и обследования фундаментов и грунтов основания здания, выполненных ООО «СК КРЕАЛ», приведен на рисунке 4.

Верхнекаменноугольные отложения представлены породами касимовского яруса общей мощностью около 35 м [23]. Залегающая на них толща верхнеюрских глин имеет в среднем мощность 2–4 м, иногда до 8–11 м. На отдельных участках верхнеюрские глины отсутствуют.

Четвертичные отложения, залегающие на каменноугольных и верхнеюрских породах, представлены аллювиальными, а также флювиогляциальными песчаными отложениями и насыпными грунтами, мощность которых с запада на восток изменяется от 2–4 до 5–6 м и далее до 10–12 м в районе засыпанной долины р. Неглинки.

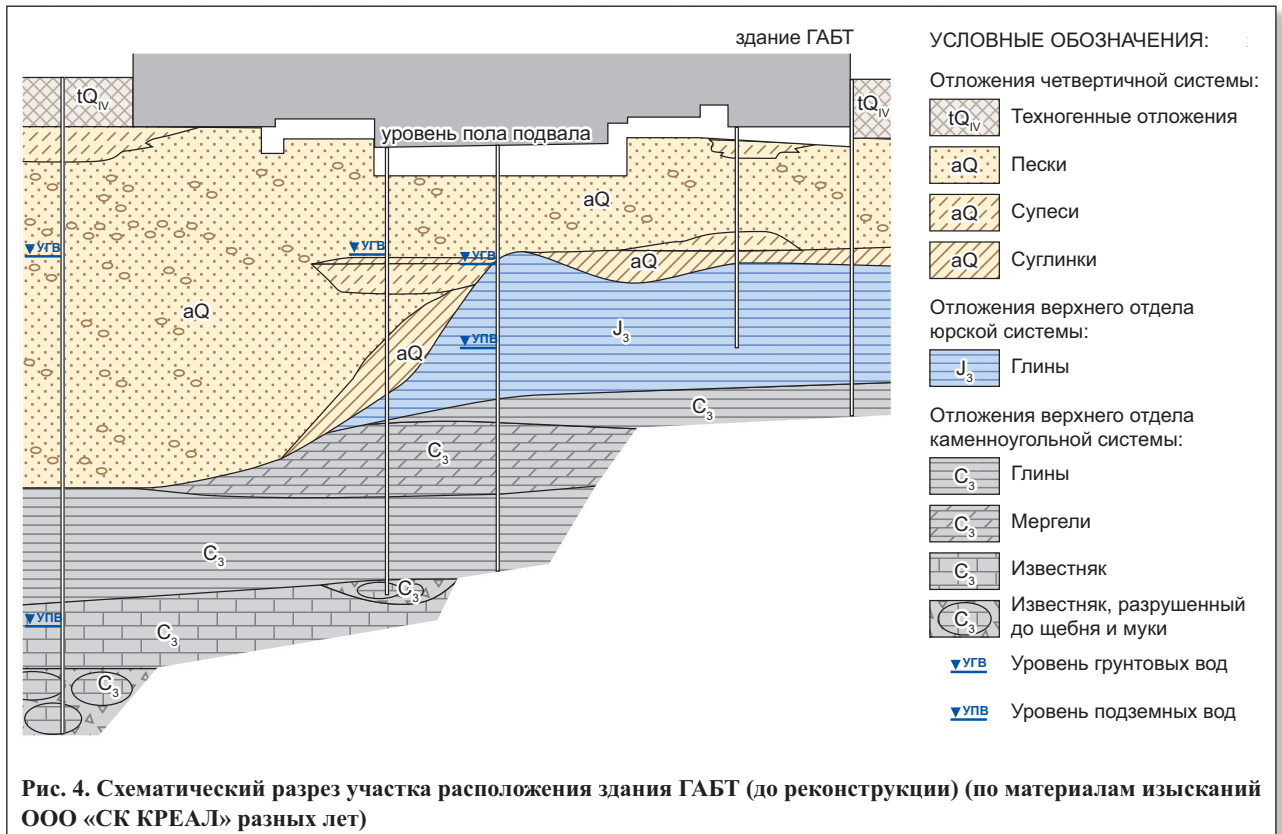
Среди особенностей геологической среды здесь следует отметить крайнюю разнородность грунтов основания ИЛТС — как в подстилающем слое (от глин и суглинков в основании юго-восточной части здания ГАБТ до гравийных грунтов в основании северо-западной части), так и по всей глубине активной зоны (выклинивание юрских отложений, различная мощность аллювия).

Насыпные отложения по составу довольно разнообразны и представлены в основном местными песчаными грунтами. В долине р. Неглинки возможно нахождение и суглинистых грунтов, а также очагов древних свалок. Мощность техногенных отложений под зданием Большого театра (до начала реконструкции) варьировала от 0,5 м в центральной части до 4,3 м в юго-восточной. Максимальная мощность техногенных грунтов на площадке реконструкции составляет 5,9 м.

Из слабых грунтов в разрезе также представлены аллювиальные пески, обладающие пльвунными свойствами. Прорывы пльвунов известны вблизи Большого театра — рядом с памятником К. Марксу, у входа на станцию метро «Охотный ряд».

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории определяются геологическим строением и интенсивным воздействием техногенных факторов (утечек из водонесущих коммуникаций, дренажного водоотлива метро, эксплуатационного водоотбора из нижележащих каменноугольных водоносных горизонтов и др.). Сложность этих условий обусловлена здесь прежде всего отсутствием на отдельных участках верхнеюрского относительного водоупора, разделяющего четвертичные отложения и первый (перхуровский) каменноугольный водоносный горизонт, а также высокой степенью урбанизации района. На территории ГАБТ в отличие от прилегающих участков при проведении инженерно-геологических изысканий не было обнаружено «верховодки», однако существуют предпосылки для ее формирования в случае избыточного увлажнения или при утечках из водонесущих коммуникаций.





Грунтовые воды загрязнены и характеризуются повышенными (по сравнению с нормативами) величинами жесткости, концентрациями нитратов и железа. Также отмечается высокое содержание хлора. В связи с гидравлической связью измайловского и надъярского водоносных горизонтов влияние утечек из канализационных коллекторов привело к загрязнению первого аммонийным азотом и повышению в его подземных водах содержания нитратов по сравнению с фоном.

На территории, прилегающей к зданию ГАБТ, по результатам проведенных ООО «СК КРЕАЛ» режимных наблюдений был выявлен сильно нарушенный температурный режим подземных вод. Температура грунтовых вод за весь период наблюдений изменялась от 11 до 43 °С. Температура подземных вод перхуровского водоносного горизонта составляла 16–18 °С (при средних региональных значениях температуры подземных вод касимовского яруса 5–7 °С).

Из опасных геологических и инженерно-геологических процессов следует выделить карстовый и суффозионный. Потенциально опасной в этом отношении является северная часть участка, занимаемого зданием ГАБТ, где юрский водоупор размыт или имеет низкую мощность, а мощность толщи четвертичных песков превышает 7–10 м. Остальная часть здания находится на участке, неопасном в карстовом и суффозионном отношении.

Большая часть территории театра до начала реконструкции не являлась подтопленной.

Таким образом, отмеченные инженерно-геологические особенности анализируемой ИЛТС являются решающими при организации ее мониторинга, определяют состав режимных наблюдений и структуру наблюдательной сети.

## Выводы

1. Под историко-культурной литотехнической системой авторами настоящей статьи предлагается понимать целостное естественно-искусственное образование, представленное техническими объектами, являющимися особо ценными в историческом и культурном отношении (зданиями, сооружениями и их ансамблями), взаимодействующими друг с другом и с геологическим массивом их основания. В таком определении отражается целостность, специфичность и происхождение этих систем, а также их функциональное назначение.

2. Основными факторами, определяющими динамику ИЛТС во времени в городах, являются: возможное изменение окружающей градостроительной среды; изменение состояния грунтового массива основания; разрушение материалов конструкций, в т.ч. фундаментов, вследствие старения; реконструкция, реставрация и приспособление зданий — памятников истории и культуры — к новым потребностям, часто осуществляемые в ущерб сохранности памятников.


3. Характерные инженерно-геологические особенности историко-культурных литотехнических систем как объектов мониторинга можно разделить на две группы — особенности техногенной и геологической подсистем ИЛТС. Они зависят от иерархического уровня ИЛТС. К инженерно-геологическим особенностям техногенной подсистемы ИЛТС, которые должны учитываться при мониторинге, относятся ее уникальность, возраст, конструктивные решения и режим эксплуатации. Для геологической подсистемы это наличие техногенных грунтов, изменение гидрогеологических условий, рельефа участка, состава, состояния и свойств грунтового массива основания, активизация и



развитие парагенеза инженерно-геологических процессов и др.

4. На основе выделенных инженерно-геологических особенностей обоснована схематизация инженерно-геологических условий для оптимизации мониторинга ИЛТС на первоначальном этапе с использованием определения таких базовых элементов, как: возраст здания; его функциональное назначение; степень измененности технической подсистемы и ее состояние;

степень измененности геологической подсистемы (изменение рельефа, геологического строения, в т.ч. накопление техногенных грунтов, изменение гидрогеологических условий, развитие инженерно-геологических процессов и др.).

5. Проведена оценка инженерно-геологических условий историко-культурной литотехнической системы ГАБТ РФ (до реконструкции) для целей обоснования ее мониторинга. 

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверкина Т.И.* Литотехнические системы как результат взаимодействия природных и технических объектов в приповерхностной части литосферы // Теория и методология экологической геологии. М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 213–236.
2. *Анпилов В.Е.* Формирование и прогноз режима грунтовых вод на застраиваемых территориях. М.: Недра, 1984. 161 с.
3. *Архитектурные ансамбли Москвы XV — начала XX веков* / под ред. Т.Ф. Саваренской. М.: Стройиздат, 1997. 470 с.
4. *Бондарик Г.К., Чань Мань Л., Ярг Л.А.* Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов: учебное пособие. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. 260 с.
5. *Бондарик Г.К., Ярг Л.А.* Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология. 1990. № 5. С. 3–9.
6. *Галкин А.Н.* Типизация литотехнических систем: состояние проблемы и пути ее решения // Инженерная геология. 2009. № 3. С. 16–19.
7. *Голодковская Г.А., Лебедева Н.И.* Инженерно-геологическое районирование территории Москвы // Инженерная геология. 1984. № 3. С. 48–61.
8. *Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Шидловская А.В.* Роль микробиоты в инженерной геологии и геоэкологии: история вопроса и результаты экспериментальных исследований // Сергеевские чтения: материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геоэкологии и гидрогеологии. Выпуск 6. М.: ГЕОС, 2004. С. 48–52.
9. *Демина Н.В.* Историко-культурные литотехнические системы как объекты мониторинга // Материалы Международного молодежного научного форума «Ломоносов-2011». CD. М.: Изд-во МГУ, 2011. ISBN 978-5-317-03634-8. 490 MB. 1000 с.
10. *Демина Н.В., Королев В.А.* Особенности и принципы систематизации историко-культурных литотехнических систем как объектов мониторинга // Тезисы VI Научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2011. С. 15–17.
11. *История русской архитектуры* / под ред. Ю.С. Ушакова, Т.А. Славиной. СПб.: Стройиздат, 1994. 600 с.
12. *Коновалов П.А.* Основания и фундаменты реконструируемых зданий. М.: Бумажная галерея, 2000. 316 с.
13. *Королев В.А.* Литотехническая система // Российская геологическая энциклопедия. Т. 2. М. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. С. 198–199.
14. *Королев В.А.* Мониторинг в инженерной геологии // Российская геологическая энциклопедия. Т. 2. М. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. С. 368–369.
15. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. 416 с.
16. *Королев В.А.* Основные принципы организации мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем // Инженерная геология. 2007. № 4. С. 24–29.
17. *Котлов Ф.В.* Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 262 с.
18. *Котов В.Ю.* Инженерно-геологическая типизация исторических природно-технических систем (на примере памятников архитектуры центра Европейской части России: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: Изд-во РГГРУ, 2001. 24 с.
19. *Кутепов В.М., Кожевникова В.Н.* Устойчивость закарстованных территорий. М.: Наука, 1989. 182 с.
20. *Москва. Геология и город* / под ред. В.И. Осипова, О.П. Медведева. М.: Московские учебники и картолитология, 1997. 399 с.
21. *Огородникова Е.Н., Николаева С.К.* Техногенные грунты: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2004. 250 с.
22. *Пашкин Е.М.* Инженерно-геологическая диагностика деформации памятников архитектуры. М.: Высшая школа, 1998. 255 с.
23. *Пендин В.В., Подборская В.О., Дубина Т.П.* Применение основных положений концепции раннего предупреждения развития негативных инженерно-геологических процессов для сохранения памятников архитектуры (на примере Успенского собора в Кирилло-Белозерском музее-заповеднике) // Геориск. 2010. № 4. С. 4–18.
24. *Ранпопорт П.А.* Древнерусская архитектура. СПб.: Стройиздат, 1993. 285 с.
25. Схематическая карта инженерно-геологического районирования г. Москвы по степени опасности проявления карстовых и суффозионных процессов // Инструкция по инженерно-геологическим и геоэкологическим изысканиям в г. Москве. М.: Правительство Москвы, Москомархитектура, 1996.
26. *Сытин П.В.* Из истории московских улиц. М.: Московский рабочий, 1958. 843 с.
27. *Трофимов В.Т., Зилинг Д. Г.* Экологическая геология. М.: Изд-во МГУ, 2002. 414 с.
28. *Шестаков В.М.* Прикладная гидрогеология: учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2001. 144 с.
29. *Шидловская А. В.* Геоэкологический и геотехнический объектный мониторинг архитектурно-исторических комплексов Санкт-Петербурга // Труды Международной конференции по геотехнике «Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство». СПб., 2003. Т. 2. С. 455–461.
30. *Шидловская А.В.* Инженерно-геологический и геоэкологический мониторинг подземного пространства исторического центра Санкт-Петербурга: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. 20 с.



# ОЦЕНКА ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСАДОК ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ ЩИТОВЫМ СПОСОБОМ CRITERIA OF POSSIBLE BUILDING DAMAGES CAUSED BY SOIL SETTLEMENTS DUE TO SHALLOW SHIELD TUNNELING

**ЕЛГАЕВ В.С.**

Аспирант кафедры «Подземные сооружения» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ),  
usd.miit@gmail.com

**ELGAEV V.S.**

A postgraduate student of the «Underground Structures»  
department of Moscow State University of Railway Engineering,  
usd.miit@gmail.com

## **Ключевые слова:**

осадки поверхности грунта; тоннель неглубокого заложения; проходка тоннеля щитовым способом; критерии повреждения зданий.

## **Key words:**

surface soil settlements; shallow tunnel; shield tunneling; building damage criteria.

## **Аннотация**

**В ближайшие три года в г. Москве намечается строительство более 75 км линий метро. В целях уменьшения стоимости они будут неглубокого заложения. При строительстве и эксплуатации таких объектов возникают проблемы, которые необходимо решать еще на стадии проектирования. В статье предлагается методика определения осадок дневной поверхности грунта при щитовой проходке тоннелей метро неглубокого заложения, основанная на использовании теоремы взаимности. Разработаны критерии оценки возможных повреждений зданий, расположенных над такими тоннелями.**

## **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в г. Москве в связи с продолжающимся осложнением транспортных проблем намечается ускоренное строительство линий метрополитена, которые в условиях плотной городской застройки являются наиболее эффективным средством их решения. В ближайшие три года намечается строительство более 75 км линий метро. В целях уменьшения его стоимости они будут неглубокого заложения.

При строительстве и эксплуатации таких объектов возникает целый ряд проблем, которые необходимо решать еще на стадии проектирования. К ним относятся:

- возможные чрезмерные осадки поверхности грунта, возникающие при проходке тоннелей, которые могут повредить здания, попадающие в области проявления этих осадок;
- вибрации, создаваемые рабочими органами щита при разработке породы, которые также могут передаваться фундаментам зданий, а в некоторых случаях вызывать разжижение грунтов;
- вибрации от подвижного состава, возникающие при эксплуатации тоннелей метро мелкого заложения.

Прогнозирование этих явлений является очень важным. Традиционные методы проектирования, используемые в инженерной практике для оценки таких воздействий, основываются на результатах измерения деформаций и амплитуд колебаний свободной поверхности в полевых условиях. Однако при таком подходе остаются непонятными механизмы взаимодействия тоннельной обделки и окружающего массива грунта.

В последние годы получили распространение более точные теории, в которых учитывается относительная жесткость грунтов и зданий, что позволяет более правильно оценивать деформации зданий и опасность их возможных повреждений.

Строительство тоннелей неглубокого заложения в дисперсных грунтах практически всегда приводит к

## **Abstract**

**During the next three years it is planned to build 75 km of subway lines in Moscow. In order to reduce the cost they will be shallow. During construction and operation of such sort of objects some problems occur that must be solved at the design stage. The authors of this article propose a method to estimate surface soil settlements caused by shallow shield tunneling on the basis of the reciprocity theorem. Possible damage criteria for buildings situated above such kind of tunnels are developed.**

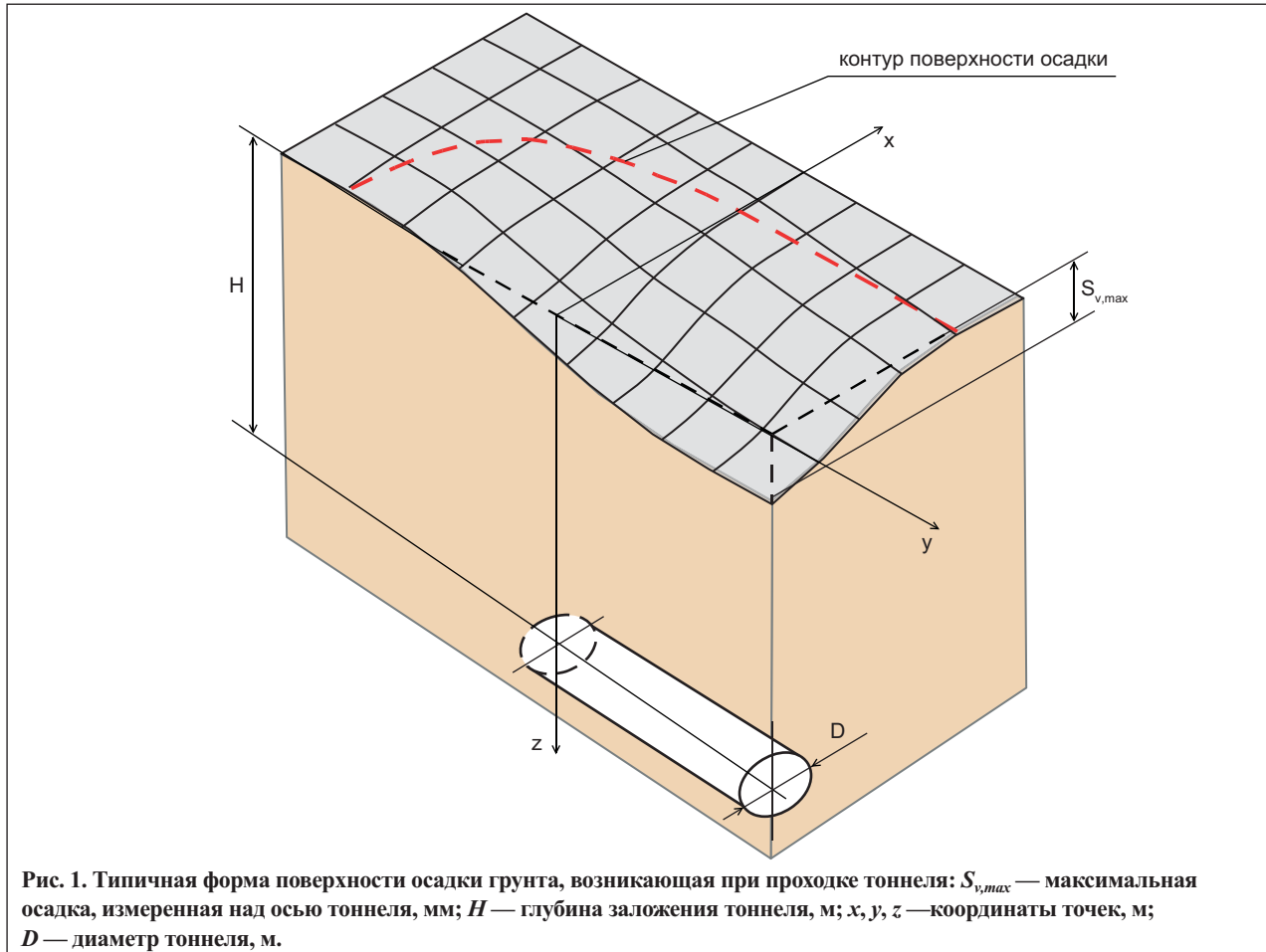


Рис. 1. Типичная форма поверхности осадки грунта, возникающая при проходке тоннеля:  $S_{v,max}$  — максимальная осадка, измеренная над осью тоннеля, мм;  $H$  — глубина заложения тоннеля, м;  $x, y, z$  — координаты точек, м;  $D$  — диаметр тоннеля, м.

деформациям дневной поверхности. В городской среде эти осадки могут повредить существующие наземные или подземные конструкции. При проходке тоннелей происходит взаимодействие подземных и наземных сооружений, которое необходимо оценить для обеспечения их безопасности.

В настоящее время в г. Москве начинается проектирование Кожуховской линии метрополитена. При ее строительстве более двухсот зданий попадают в область возможных осадок поверхности грунта, т.к. предполагается строительство тоннелей неглубокого (около 20–30 м) заложения.

Целью статьи является анализ в основном зарубежного опыта проектирования и строительства тоннелей в таких условиях. Предлагаются методика расчета осадок поверхности грунта, основанная на теореме взаимности, и классификация возможных повреждений зданий при проходке тоннелей неглубокого заложения щитовым способом в грунтах, не являющихся скальными.

## 1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЯ

### 1.1. Определение вертикальных перемещений дневной поверхности, возникающих при проходке тоннеля

Английский ученый Р.Б. Пек [18] еще в 1969 г. предположил, что поперечное сечение кривой мульды осадки может быть описано функцией ошибки Гаусса. С

тех пор это интуитивное математическое описание данного явления принято многими инженерами. Замеры в полевых условиях и испытания моделей на центрифугах, проведенные в большом количестве, показали хорошее совпадение с теоретическими данными.

На рисунке 1 представлено типичное искажение формы дневной поверхности, которое возникает при проходке тоннелей (контур поверхности осадки показан красной штриховой линией). Такая ее деформация называется мульдой осадки.

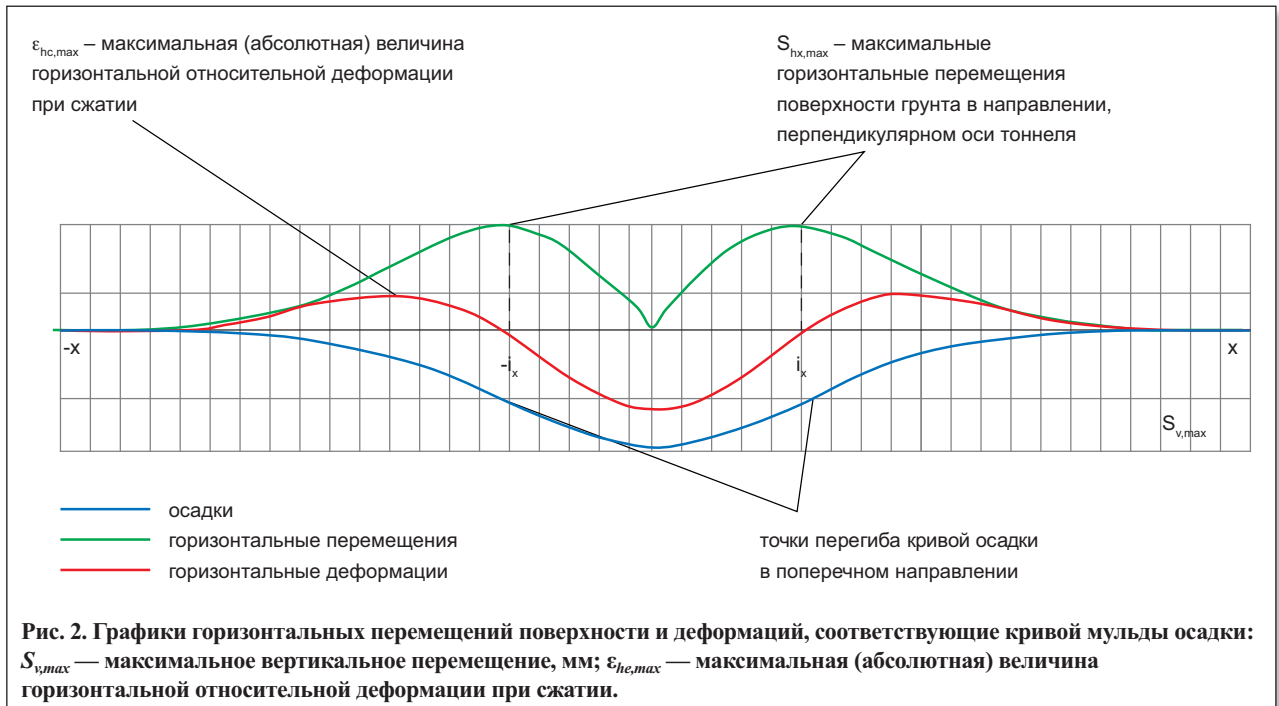
Для обозначения параметров, характеризующих поверхность мульды осадки, приняты следующие обозначения:  $S_v$  (мм) — вертикальное смещение точек дневной поверхности;  $S_{hx}$  (мм) — горизонтальное смещение точек дневной поверхности, направленное перпендикулярно оси тоннеля;  $S_{hy}$  (мм) — горизонтальное смещение точек дневной поверхности, направленное вдоль оси тоннеля.

В соответствии с указанным подходом функцию вертикальной осадки в поперечном сечении можно определить по формуле [18]:

$$S_v(x) = S_{v,max} e^{-\frac{x^2}{2i_x^2}}, \quad (1)$$

где  $i_x$  (м) — параметр ширины мульды, представляющий собой стандартное отклонение функции Гаусса;  $e$  — основание натурального логарифма.

Типичная поперечная кривая мульды осадки представлена на рис. 2. Следует отметить, что она имеет максимальный наклон в точке перегиба, которая расположена на расстоянии  $i_x$  от геометрической оси



тоннеля. Эта точка отделяет зону прогибов от зоны выгибов. Как будет показано ниже, она является критической при определении критерия деформации здания.

Площадь области, ограниченной Гауссовой функцией, по определению равна единице. Следовательно, площадь, определяемая кривой мульды осадки (интеграл правой части выражения (1)), вычисляется по формуле:

$$V_s = \int_{-\infty}^{\infty} S_v dx = \sqrt{2\pi} i_x S_{v,max}, \quad (2)$$

где  $V_s$  — объем мульды осадки на единицу длины тоннеля,  $m^3$ .

В материалах с малой водопроницаемостью смещение частиц грунта к тоннельной обделке происходит без дренирования. Другими словами, зазор между тоннельной обделкой и границей разработанной полости полностью заполняется грунтом. Поэтому объем поверхностной мульды осадки равен объему грунта, удаленному сверх объема, занимаемого тоннелем. Обычно он определяется как отношение этого дополнительного (потерянного) объема к объему тоннеля (на единицу его длины):

$$V_L = \frac{V_s}{\pi \frac{D^2}{4} \cdot l} \quad (3)$$

где  $l$  — длина погонного метра тоннеля,  $l = 1$  м;  $V_L$  — потеря объема,  $m^3$ ;  $D$  — внешний диаметр тоннеля, м.

На практике отношение (3) выражается в процентах.

Учитывая зависимости (2) и (3), выражение (1) можно привести к виду:

$$S_v(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{V_L D^2}{4 i_x} e^{-\frac{x^2}{2 i_x^2}}. \quad (4)$$

Для данного диаметра тоннеля  $D$  форма и величина поперечной кривой осадки зависит только от потери объема  $V_L$  и ширины мульды  $i_x$ . Эти два критических параметра будут обсуждены более подробно далее после получения величин горизонтальных компонент перемещения.

### 1.2. Определение горизонтальных перемещений грунта

Английские ученые М.П. О'Рейли и Б.М. Нью [16] определили горизонтальные перемещения поверхности грунта в поперечном направлении, предположив, что частицы грунта перемещаются к оси тоннеля. Тогда, зная вертикальные составляющие перемещений, можно определить горизонтальные:

$$S_{hx}(x) = -x S_v(x) / z_0, \quad (5)$$

где  $z_0$  — глубина заложения тоннеля, м.

На рисунке 2 представлены функции горизонтальных и вертикальных перемещений. Следует отметить, что максимальные горизонтальные перемещения проявляются в точках перегиба. На этом же рисунке представлены функции горизонтальных деформаций  $\varepsilon_h(x)$ , которые равны производной перемещений по пространственной переменной  $x$ .

$$\varepsilon_h(x) = \frac{S_v(x)}{z_0} \left( \frac{x^2}{i_x^2} - 1 \right). \quad (6)$$

Положительным значениям в этом уравнении соответствуют деформации растяжения, отрицательным — деформации сжатия.

Горизонтальные деформации являются важным критерием при оценке деформаций зданий, попадающих в зону воздействия строящегося тоннеля.

Анализ кривых, представленных на рис. 2, показывает, что между двумя точками перегиба возникают деформации сжатия, вне этих точек — деформации растяжения. Максимальные (абсолютные) величины го-



ризонгальных деформаций  $\varepsilon_h$  ( $\varepsilon_{hc}$  — при сжатии,  $\varepsilon_{ht}$  — при растяжении) возникают при  $x = 0$  и  $x = \sqrt{3}i_x$  при сжатии и растяжении соответственно.

### 1.3. Форма поверхности осадок грунта вдоль оси тоннеля

П.Б. Этьюзл и Дж.П. Вудмэн [8] предложили определять продольный профиль осадки грунта, считая, что тоннель в продольном направлении представляет собой множество точечных источников, каждый из которых вызывает осадки. Если и в этом случае принять, что последние описываются функцией Гаусса, то продольный профиль функции осадки по оси тоннеля ( $x = 0$ ) можно описать выражением:

$$S_v(y)_{x=0} = S_{v,max} \Phi(y/i_y), \quad (7)$$

где  $\Phi(y/i_y)$  — функция (безразмерная) суммарной вероятности осадок от точечных источников;  $y$  — координата, направленная вдоль оси тоннеля от забоя, м;  $i_y$  — ширина мулды продольного профиля осадки, м. Функция  $\Phi(y/i_y)$  представляется в виде:

$$\Phi\left(\frac{y}{i_y}\right) = \frac{1}{i_y \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2i_y^2}} dy. \quad (8)$$

На рисунке 3 представлена теоретическая кривая продольной осадки, соответствующая теории П.Б. Этьюзла и Дж.П. Вудмэна [8]. Теоретически осадка увеличивается в положительном направлении оси  $y$  (за забоем) и достигает максимального значения  $S_{v,max}$  при  $y = \infty$ . Осадка, равная нулю ( $S_v = 0$ ), достигается при  $y = -\infty$ . При  $y = 0$  осадка равна половине максимальной ( $S_{v,max} / 2$ ). П.Б. Этьюзл и Дж.П. Вудмэн [8] показали, что при проходке в твердых глинах над забоем осадки составляют 30–50% от  $S_{v,max}$  (со средней величиной, равной приблизительно 40% от  $S_{v,max}$ ).

Для упрощения расчетов часто предполагается, что над забоем тоннеля при  $y = 0$  максимальное значение осадки можно принимать равным  $0,5S_{v,max}$ .

Многие исследователи [15] для сравнения величин  $i_x$  и  $i_y$  провели большое количество испытаний и замеров осадок вдоль и перпендикулярно оси тоннеля. Несмотря на то что значения  $i_x$  получались немного больше величин  $i_y$  (например, при строительстве продолжения Юбилейной линии метро в г. Лондоне в районе станции «Парк Святого Джеймса» («St. James's Park») были проведены полевые измерения, из которых следовало, что  $i_x/i_y = 1,3$ ), для многих проектов тоннельного строительства принимают  $i_x = i_y$ . В данной статье

далее будет использоваться параметр ширины мулды  $i = i_x$  для  $i_x$ , и для  $i_y$ .

На основании предположения, что векторы перемещений частиц грунта направлены к центру забоя тоннеля, было доказано [16], что горизонтальные перемещения точек дневной поверхности в продольном направлении  $S_{hy}$  можно определить из выражения:

$$S_{hy}(y)_{x=0} = \frac{V_L D^2}{8z_0} e^{-\frac{y^2}{2i^2}}. \quad (9)$$

Дифференцирование функции  $S_{hy}$  по координате  $y$  позволяет определить горизонтальные деформации грунта в продольном направлении над осью тоннеля:

$$\varepsilon_{hy}(y)_{x=0} = -y \frac{V_L D^2}{8i^2 z_0} e^{-\frac{y^2}{2i^2}}. \quad (10)$$

Полученное выражение описывает деформации растяжения (положительные значения) перед забоем и деформации сжатия (отрицательные значения) за забоем.

В соответствии с изложенной выше теорией все компоненты перемещений и напряжений зависят от двух параметров, связанных с шириной мулды, — осадки  $i$  и потери объема  $V_L$ .

### 1.4. «Потеря объема» грунта

«Потеря объема» грунта  $V_L$  равна разности объема выбранного грунта и теоретического объема тоннеля в расчете на единицу длины последнего.

При строительстве тоннелей щитовым способом на деформации поверхности грунта влияют следующие факторы:

- перебор (выработка большего объема породы в забое по сравнению с объемом тоннеля) и выпуски (превышение количества тампонажного раствора и породы в полости между тоннельной обделкой и выработкой);
- передвижение щитов даже с небольшим (порядка нескольких градусов) углом атаки;
- увеличенный строительный зазор между обделкой и грунтовым массивом;
- податливость обделки;
- деформации щитов и их вибрации.

Все эти факторы определяют величину «потери объема» грунта, от которой в большей мере зависят осадки дневной поверхности.

Современная технология проходки позволяет ограничить перемещения грунта до такой степени, чтобы ущерб от него подземным сооружениям и со-

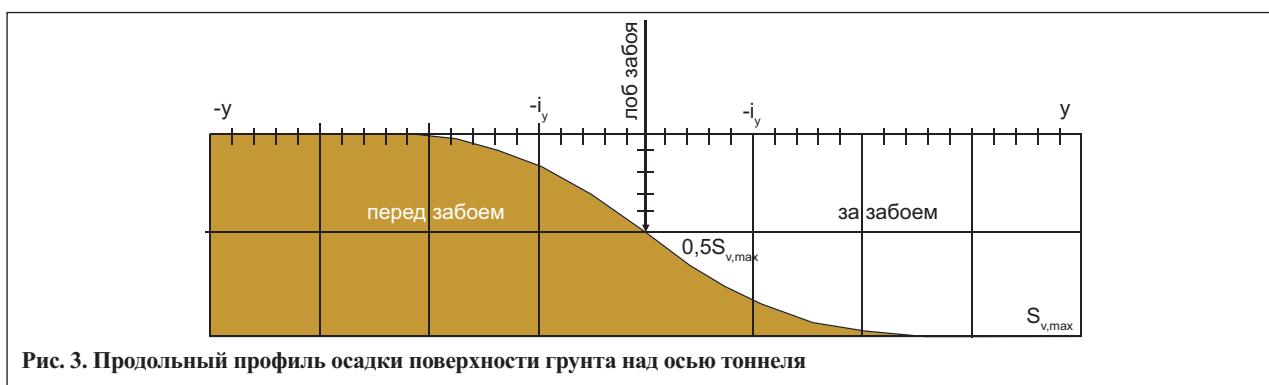
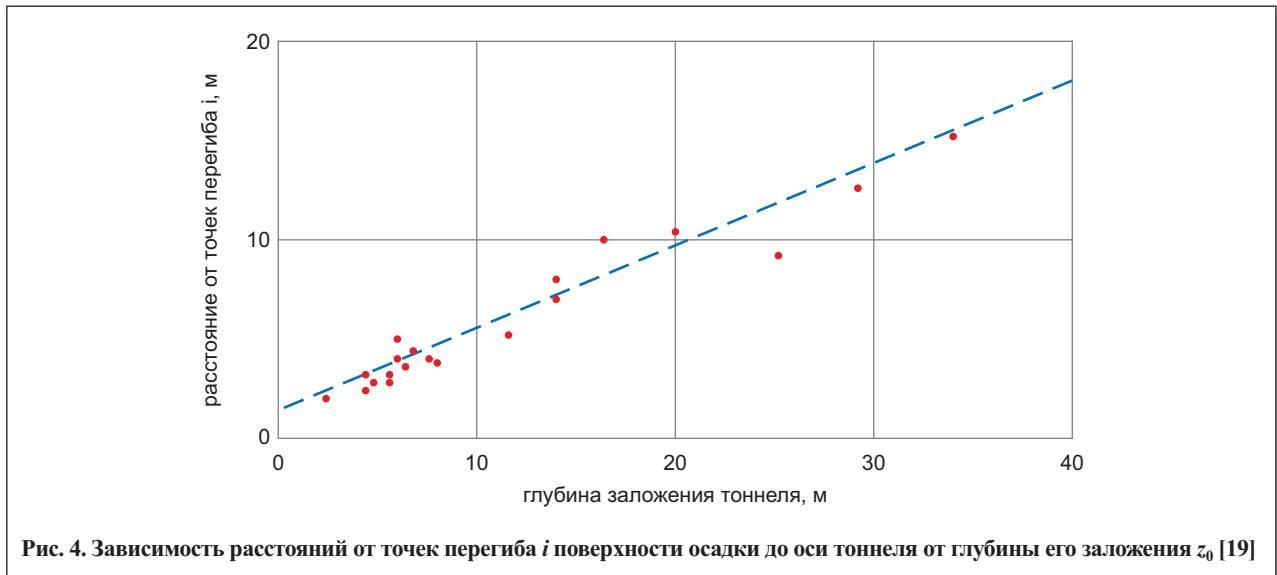


Рис. 3. Продольный профиль осадки поверхности грунта над осью тоннеля



оружениям на поверхности был минимальным. Тем не менее полностью избежать воздействия щитовой проходки на окружающую среду не представляется возможным.

Замеры при строительстве метро в г. Лондоне [16] показали, что при щитовой проходке в глинистых грунтах объем потерянного грунта находился в диапазоне от 1% до 2%. Отмечены и более высокие потери объема грунта при строительстве продолжения Юбилейной линии метро и станции «Парк Святого Джеймса» в г. Лондоне [21] — 3,3 и 2,9%.

Некоторые ученые, например Дж.Б. Берленд и др. [10], предлагали ограничивать величину параметра потери объема грунта при заключении контрактов на строительство тоннелей.

### 1.5. Ширина кривой мульды осадки

Для оценки ширины впадины поверхности грунта удобно использовать параметр мульды осадки  $i$ . В поперечном сечении кривой осадки это расстояние от точки перегиба (т.е. точки максимального наклона) до оси тоннеля (см. рис. 2). М.П. О'Рейли и Б.М. Нью [16] выполнили большое количество замеров по этим кривым при проходке тоннелей в глинистых породах. В результате обработки экспериментальных данных (рис. 4) ими была получена следующая линейная зависимость параметра ширины мульды  $i$  (м) от глубины заложения тоннеля  $z_0$  (м):

$$i = 0,43z_0 + 1,1. \quad (13)$$

На основании анализа экспериментальных данных авторы работы [16] сделали вывод о том, что для глинистых грунтов во многих случаях значение коэффициента  $K$ , определяющего точку перегиба, равное 0,5, является приемлемой величиной. В то же время они указали, что она может меняться в диапазоне от 0,4 до 0,7 для жесткой и мягкой глины соответственно. Как видно из рис. 4, простая линейная функция достаточно хорошо описывает зависимость, полученную экспериментальным путем в полевых условиях. Тем не менее для удобства использования с достаточной для инженерных расчетов точностью авторы [16] упростили уравнение (13), приведя его к виду:

$$i = Kz_0. \quad (14)$$

Позднее В.Дж. Ренкин [20] на основании большого количества данных, полученных в полевых условиях, подтвердил величину  $K = 0,5$ . Таким образом, для глинистых грунтов получается простая зависимость:

$$i = 0,5z_0. \quad (15)$$

Кроме полевых замеров Т. Кимура и Р.Дж. Мейром [13] были выполнены испытания на центрифуге. Их результаты показали, показали, что величина  $K = 0,5$  не зависит от жесткости тоннельной конструкции. Авторы [13] пришли к выводу, что значение  $K$  не зависит от способа проходки тоннеля.

### 1.6. Перемещения слоев грунта под дневной поверхностью

Для оценки воздействий перемещений грунтов на фундаменты зданий и других подземных сооружений при проходке тоннелей необходимо уметь оценивать перемещения частиц грунта не только на поверхности, но и на разных глубинах. Было выполнено большое количество экспериментально-теоретических исследований, чтобы получить простые и удобные для инженерного использования зависимости.

Исходя из предположения, что деформации подповерхностных слоев также описываются функцией Гаусса, Р.Дж. Мейр и др. [14] получили формулу для определения ширины мульды осадки  $i$  на разных глубинах:

$$i = 0,5(z_0 - z). \quad (16)$$

Выполненные полевые измерения и испытания моделей на центрифуге позволили откорректировать это выражение. Была предложена формула, более точно описывающая деформации подповерхностных слоев:

$$i = K(z_0 - z). \quad (17)$$

Коэффициент  $K$  здесь определяется из выражения

$$K = 0,325 + 0,175 / (1 - z / z_0). \quad (18)$$



Можно показать, что при  $z = 0$  (что соответствует дневной поверхности) из выражения (18) получается  $K = 0,5$ . Это значение соответствует величине, полученной из уравнения (15).

Функция Гаусса может использоваться для определения кривых для подповерхностных слоев. Для этой цели предложены эмпирические поправочные коэффициенты.

Испытания на центрифугах показали, что величины, характеризующие ширину поверхности мульды осадки  $i$ , возрастают, если над тоннелем находятся поверхностные слои, жесткость которых больше жесткости грунтов, в которых находится тоннель.

Недостаток эмпирического метода заключается в том, что при таком способе определения поверхности мульды сдвига не учитываются свойства грунта и не определяется величина динамического воздействия на здания.

Для решения проблемы оценки как статического, так и динамического воздействия на окружающую среду при щитовой проходке тоннелей в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) была разработана методика, в основу которой была положена «теорема взаимности» (см. далее).

## 2. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «ТЕОРЕМЫ ВЗАИМНОСТИ»

При определении величин осадок и уровней колебаний поверхности при щитовой проходке тоннелей используется «теорема взаимности» и известные решения задачи о воздействии сосредоточенной силы на упругое полупространство.

В настоящей работе «теорема взаимности» используется в следующей формулировке [2]: «Если сила  $F(t)$ , приложенная в направлении  $\alpha$  к некоторой точке  $A$  упругого анизотропного неоднородного пространства, вызывает в другой точке  $B$  перемещение в направлении  $\beta$ , равное  $u(t)$ , то эта же сила  $F(t)$ , приложенная к точке  $B$  в направлении  $\beta$ , вызовет в точке  $A$  перемещение в направлении  $\alpha$ , равное  $u(t)$ ».

### 2.1. Определение деформаций дневной поверхности грунта при щитовой проходке

На первой стадии определяется напряженно-деформированное состояние упругого полупространства при действии постоянной сосредоточенной силы. Для этой цели используется известное аналитическое решение Фламанта [7].

$$\sigma_r = (2F / \pi r) \cos \theta = 2Fz / \pi r^2, \quad (19)$$

где  $\sigma_r$  — радиальные напряжения в упругом полупространстве при действии сосредоточенной силы,  $\text{H}/\text{м}^2$  (см. рис. 5);  $F$  — нагрузка на единицу длины поверхности вдоль оси  $y$ , приложенная к поверхности упругого полупространства,  $\text{H}/\text{м}$ ;  $\theta$  — угол между вертикальной линией, проведенной в точке приложения силы, и линией, соединяющей центр тоннеля с точкой приложения силы, рад;  $r$  — расстояние от точки приложения силы до центра тоннеля, м;  $z$  — расстояние от оси тоннеля до поверхности (глубина заложения тоннеля), м.

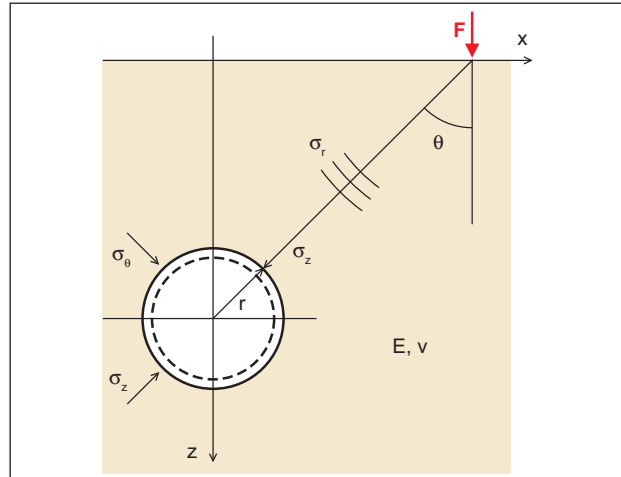


Рис. 5. Расчетная схема для определения перемещений стенок цилиндрической полости при действии вертикальной силы на поверхность (расшифровка обозначений — в тексте)

Нормальные напряжения в двух взаимно перпендикулярных направлениях:

$$\sigma_z = \sigma_r \nu / (1 - \nu); \quad (20)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_z \nu / (1 - \nu), \quad (21)$$

где  $\sigma_z$  — нормальное напряжение вдоль оси тоннеля,  $\text{H}/\text{м}^2$ ;  $\sigma_\theta$  — нормальные напряжения, перпендикулярные направлению,  $\text{H}/\text{м}^2$ ;  $\nu$  — коэффициент Пуассона.

Радиальные перемещения  $u_r$  (м) контура цилиндрической полости при действии нормальных напряжений, перпендикулярных оси этой полости, определяются по формуле:

$$u_r = a \sigma_r (1 + 2 \cos 2\theta) / E \quad \text{при } \theta = 0, \quad (22)$$

где  $a$  — радиус полости, м;  $E$  — модуль упругости грунта,  $\text{H}/\text{м}^2$ .

Радиальные перемещения контура при действии нормальных напряжений, перпендикулярных направлению оси цилиндрической полости и перпендикулярных направлению  $\theta = 0$ :

$$u_r = a \sigma_r \nu (1 - 2 \cos 2\theta) / E (1 - \nu). \quad (23)$$

Радиальные перемещения контура при действии нормальных напряжений вдоль оси цилиндрической полости:

$$u_r = a \sigma_z \nu / E \Rightarrow u_r = \nu^2 / (1 - \nu) \cdot a \sigma_r / E. \quad (24)$$

Суммарные радиальные перемещения контура цилиндрической полости при действии напряжений вдоль оси полости и в двух взаимно ортогональных направлениях, перпендикулярных оси полости, определяются выражением:

$$u_r = \frac{a \sigma_r}{E} (1 + 2 \cos 2\theta) + \frac{a \sigma_r \nu}{E(1 - \nu)} (1 - 2 \cos 2\theta) + \frac{a \sigma_r \nu^2}{E(1 - \nu)}. \quad (25)$$



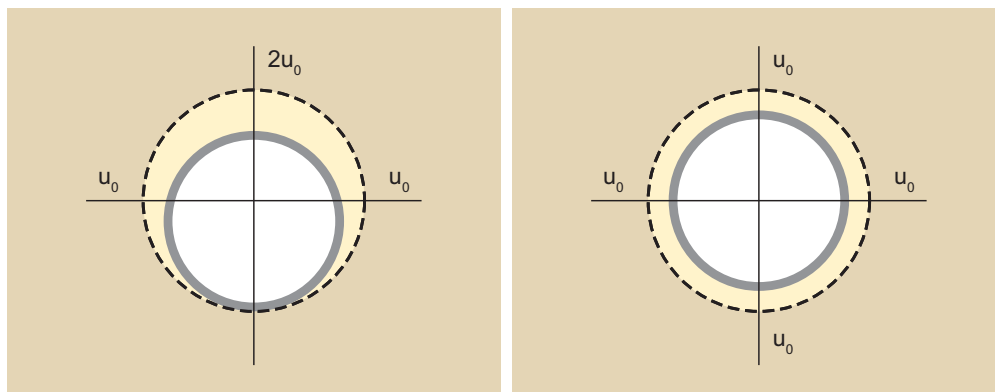


Рис. 6. Схема для учета неравномерной величины зазора между корпусом щита (тоннельной обделкой) и полостью в грунте:  $u_0$  — величина эквивалентного равномерного зазора

Выражение (25) удобно преобразовать так, чтобы в него входило отношение скорости распространения поперечных волн  $c_s = \sqrt{\mu / \rho}$  к скорости распространения продольных волн  $c_p = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}$  (где  $\mu, \lambda$  — параметры Ламе, Н/м<sup>2</sup>, причем  $\mu$  представляет собой модуль сдвига грунта;  $\rho$  — плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>).

Обозначим отношение квадратов скоростей распространения волн символом  $\delta^2$ . Полагая, что

$$\delta^2 = \frac{c_s^2}{c_p^2} = \frac{\mu}{\lambda + 2\mu} = \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)}, \quad (26)$$

приведем выражение (25) к более простому виду:

$$u_r = \frac{a\sigma_r}{2\mu} \left[ 1 + \frac{8(1 - \delta^2)\delta^2}{3 - 4\delta^2} \cos 2\theta \right]. \quad (27)$$

Подставив выражение (19) в уравнение (27) и выполнив необходимые алгебраические преобразования, получим:

$$u_r = \frac{aFz}{\mu\pi(x^2 + z^2)} \left[ 1 + \frac{8(1 - \delta^2)\delta^2}{3 - 4\delta^2} \cos 2\theta \right] \quad (28)$$

В соответствии с «теоремой взаимности» вертикальное перемещение поверхности грунта, определяемое координатами  $x, y$  и углом  $\theta$  (точнее,  $\cos 2\theta$ ), при действии вертикальной силы, приложенной к контуру полости, будет также соответствовать выражению (28).

Полученное выражение (28) можно использовать для оценки перемещений поверхности грунта от веса щита в том случае, когда вес щита значительно превышает вес замещенного грунта. Такая же оценка может быть необходимой при использовании щитов больших диаметров.

В качестве примера определим максимальное перемещение поверхности грунта над щитом, погонный вес которого равен 800 кН/м. Модуль сдвига грунта примем равным  $\mu = 4,0 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup>, если проходка ведется в жестких глинах. Вес удаленной породы, приходящейся на 1 м:  $P = \gamma\pi R^2 = 3,14^3 \cdot 19000 = 5,8 \cdot 10^5$  Н/м (где  $R$  — радиус щита, м;  $\gamma$  — удельный вес удаленной породы, Н/м<sup>3</sup>). Давление на грунт при проходке возрастает на величину, равную  $(F - P) = 8,0 \cdot 10^5 - 5,8 \cdot 10^5 = 2,2 \cdot 10^5$  Н/м.

При проходке на глубине  $h = 20$  м щитом диаметром 6,28 м максимальная осадка от разности между

собственным весом щита и весом выбранной породы составит:

$$u_{z,\max} = \frac{a(F - P)}{\mu\pi h} \left[ 1 + \frac{8 \cdot (1 - \delta^2) \cdot \delta^2}{3 - 4\delta^2} \right] = \frac{3,14 \cdot 2,2 \cdot 10^5}{\pi \cdot 4,0 \cdot 10^6 \cdot 20} \cdot 1,31 = 0,004 \text{ м.} \quad (29)$$

При проходке в мягких грунтах при модуле сдвига  $\mu = 0,30 \cdot 10^6$  Н/м<sup>2</sup> величина максимальной осадки над щитом возрастет:

$$u_{z,\max} = \frac{a(F - P)}{\mu\pi h} \left[ 1 + \frac{8 \cdot (1 - \delta^2) \cdot \delta^2}{3 - 4\delta^2} \right] = \frac{3,14 \cdot 2,2 \cdot 10^5}{\pi \cdot 3,0 \cdot 10^5 \cdot 20} \cdot 1,31 = 0,048 \text{ м.} \quad (30)$$

Осадки полученной величины (48 мм) могут привести к серьезным повреждениям наземных сооружений.

Для определения осадок поверхности грунта при заполнении зазора  $\Delta$  между обделкой тоннеля и выработкой также используется «теорема взаимности». В этом случае вычисляются средние радиальные перемещения неподкрепленной цилиндрической полости.

Средние радиальные перемещения цилиндрической полости от силы, приложенной на поверхности земли, определяются формулой:

$$\Delta u_r = \Delta u_{r_1} + \Delta u_{r_2} + \Delta u_{r_3}, \quad (31)$$

где  $\Delta u_{r_1} = a\sigma_r / E$ ,  $\Delta u_{r_2} = (\nu / (1 - \nu)) \cdot a\sigma_r / E$ ,  $\Delta u_{r_3} = (\nu^2 / (1 - \nu)) \cdot a\sigma_r / E$  — средние перемещения контура цилиндрической полости, м, от трех взаимно перпендикулярных напряжений, создаваемых сосредоточенной силой.

Формула (31) после подстановки в нее выражений для средних радиальных перемещений примет вид:

$$\Delta u_r = \frac{a\sigma_r}{E} + \frac{a\sigma_r}{E} \left( \frac{\nu}{1 - \nu} \right) + \frac{a\sigma_r}{E} \left( \frac{\nu^2}{1 - \nu} \right) = \frac{a\sigma_r}{E} \left[ \frac{1 + \nu^2}{1 - \nu} \right], \quad (32)$$

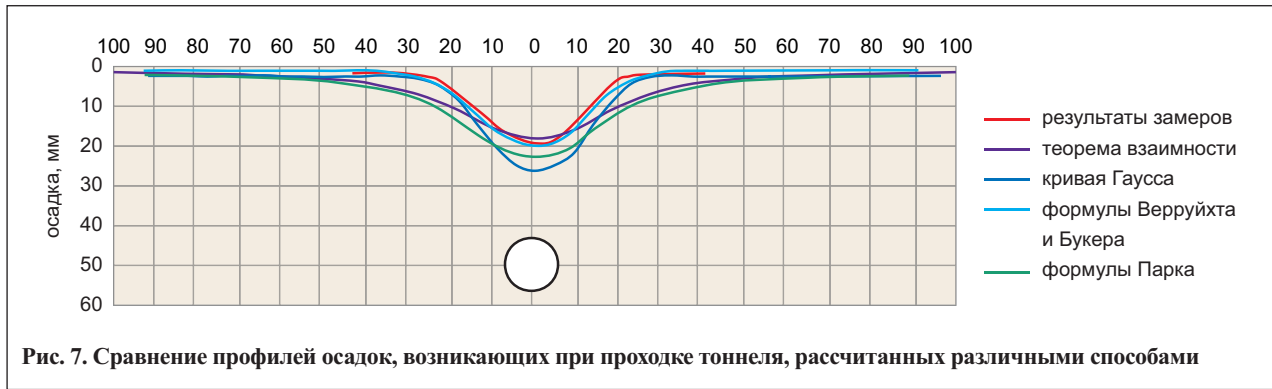


Рис. 7. Сравнение профилей осадок, возникающих при проходке тоннеля, рассчитанных различными способами

где напряжения  $\sigma_r$  определяются выражением (19).

В соответствии с «теоремой взаимности» имеем:

$$u_z = \frac{2Fz}{\pi r^2} \frac{a}{E} \left[ \frac{1+\nu^2}{1-\nu} \right]. \quad (33)$$

Учитывая, что перемещения стенок цилиндрической полости определяются выражением  $\Delta = pa / 2\mu$  (где  $p$  — внутреннее давление, Н/м<sup>2</sup>), и используя решение Рейснера [7]  $p = 2F / \pi a$ , получим:

$$F = \pi \mu \Delta. \quad (34)$$

Полученные соотношения (33) и (34) позволяют определить простое выражение для оценки перемещений поверхности грунта, если известна величина зазора между корпусом щита (тоннельной обделкой) и полостью в грунте:

$$u_z = \frac{\Delta \cdot z \cdot a \cdot 2 \cdot (1 + \nu^2)}{r^2 \cdot (1 - \nu^2)}. \quad (35)$$

Для того чтобы учесть неравномерную величину зазора по контуру тоннельной обделки, при аналитических решениях используется следующее выражение:

$$u_r(r=a) = -u_0(1 + \sin\theta). \quad (36)$$

В настоящей статье для сравнения результатов расчета с результатами, полученными другими авторами другими методами, величина зазора  $\Delta$  определяется через коэффициент потери объема грунта  $V_L$  из соотношения:

$$V_L = \frac{\pi(a + \Delta)^2 - \pi a^2}{\pi a^2}. \quad (37)$$

## 2.2. Сравнение кривых мульд осадок

На рисунке 7 представлено сравнение кривых мульд осадок, полученных эмпирическими, аналитическими и численными методами для коэффициента потери объема 1%.

Можно отметить, что профиль осадок, полученный с использованием программного комплекса PLAXIS (на рис. 7 не показанный), практически совпадает с профилем осадок, полученных с использованием формул Верруйхта и Букера [22]. Профили осадок, рассчитанные с использованием формул Парка [17] и функции Гаусса, незначительно отличаются от предыдущих результатов и данных полевых наблюдений.

Сравнение всех профилей осадок показало, что кривая, полученная с использованием «теоремы взаимности», хорошо совпадает с результатами данных полевых наблюдений.

Представленные результаты показывают, что аналитические и эмпирические методы достаточно хорошо описывают осадки поверхности грунта.

Тем не менее для сложных грунтовых условий более подходящими являются численные методы, позволяющие учесть неоднородность грунтов.

## 3. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗДАНИЙ ИЗ-ЗА ОСАДОК ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПРИ ПРОХОДКЕ ТОННЕЛЕЙ

Как уже было отмечено выше, проходка тоннелей в мягких грунтах вызывает перемещения частиц грунта и деформирует дневную поверхность. В городских условиях эти деформации могут повредить фундаменты наземных сооружений и сами сооружения. Предсказание и оценка возможных воздействий на наземные сооружения при проходке тоннелей и в особенности тоннелей мелкого заложения являются важной проблемой при проектировании, строительстве и эксплуатации тоннелей неглубокого заложения.

В странах (Англии, Канаде и др.), в которых для решения транспортных проблем в городских условиях широко использовались линии метрополитена, при строительстве последних проводились многочисленные теоретические и экспериментальные исследования.

Для количественной и качественной оценки воздействий, оказываемых на здания при проходке тоннелей, были разработаны категории повреждений этих зданий.

### 3.1. Категории повреждений зданий при осадках поверхности грунта

Существует несколько подходов к оценке повреждений зданий при проходке тоннелей [10]. В качестве критериев можно, например, использовать следующие характеристики: (1) изменение характеристик внешнего вида; (2) нарушение функциональных свойств; (3) уменьшение прочности и устойчивости.

С учетом того что такие критерии зависят от субъективных восприятий инженеров, занимающихся исследованиями зданий, во многих европейских странах были разработаны классификации (шкалы) повреждений зданий, основанные на оценке объема работ, не-

Таблица 1

Категории возможных повреждений зданий в зависимости от величины раскрытия трещин и объема возможных ремонтных работ		
Категория поврежденных зданий	Уровень повреждения	Описание повреждений
1	Незначительное	Волосяные трещины с величиной раскрытия менее 0,1 мм
2	Очень слабое	Незначительные трещины с шириной раскрытия менее 1 мм, которые в основном проявляются на внутренних стенах. При тщательном обследовании могут быть обнаружены и на внешних стенах кирпичных зданий. Ремонт таких повреждений выполняется при отделочных работах
3	Слабое	Ширина раскрытия трещин — до 5 мм. Потребуется выполнение отделочных работ. В некоторых случаях предстоит выполнить работы для обеспечения герметичности. Двери и окна могут незначительно заклинить
4	Умеренное	Ширина раскрытия трещин — от 5 до 15 мм. Может потребоваться выполнение работ по ремонту каменной кладки. Двери и окна могут заклинить. Возможно разрушение водопроводных и канализационных труб
5	Сильное	Ширина раскрытия трещин — от 15 до 25 мм. Требуется выполнение ремонтных работ для усиления и замены участков стен, особенно около дверей и окон. Формы окон и дверных рам искажены. Заметен наклон пола и стен (более 1/100). Повреждены канализационные и водопроводные трубы
6	Очень сильное	Ширина раскрытия трещин — более 25 мм. Требуется выполнение ремонтных работ для частичного или полного восстановления сооружения. Основания балок и стен разрушены. Окна повреждены. Существует опасность потери устойчивости

Таблица 2

Категории повреждений зданий [10]		
Категория поврежденных	Степень повреждения	Предельные деформации растяжения, %
0	Незначительное	0,000–0,050
1	Очень слабое	0,050–0,075
2	Слабое	0,075–0,150
3	Умеренное	0,150–0,300
4–5	От сильного до очень сильного	$\geq 0,300$

обходимых для ремонта сооружений. В качестве одного из показателей используется также ширина раскрытия трещин.

В российских нормах отсутствует классификация повреждений зданий при осадках фундаментов и тем более при проходке тоннелей. В СНиП 2.02.01-83\* [5] регламентируются только предельные деформа-

ции оснований зданий, не связанные с проходкой тоннелей.

В СНиП III-44-77 [6], регламентирующем производство и приемку работ при строительстве тоннелей, утверждается: «Работы по проходке тоннеля должны быть остановлены в случае увеличения осадок и появления опасных деформаций наземных зданий и сооружений, действующих линий метрополитена или подземных коммуникаций, находящихся в зоне влияния тоннельных работ. За деформациями зданий и сооружений должен быть установлен ежедневный маркшейдерский контроль». Но и в этом документе отсутствует классификация допустимых возможных повреждений.

С точки зрения автора, в РФ необходим документ, регламентирующий допустимые (безопасные) повреждения зданий, возникающие при проходке тоннелей неглубокого заложения. Этот документ должен быть обсужден проектировщиками и строителями зданий и тоннелей.

Предлагается рассматривать шесть категорий повреждений зданий (табл. 1). Классификацию, пред-

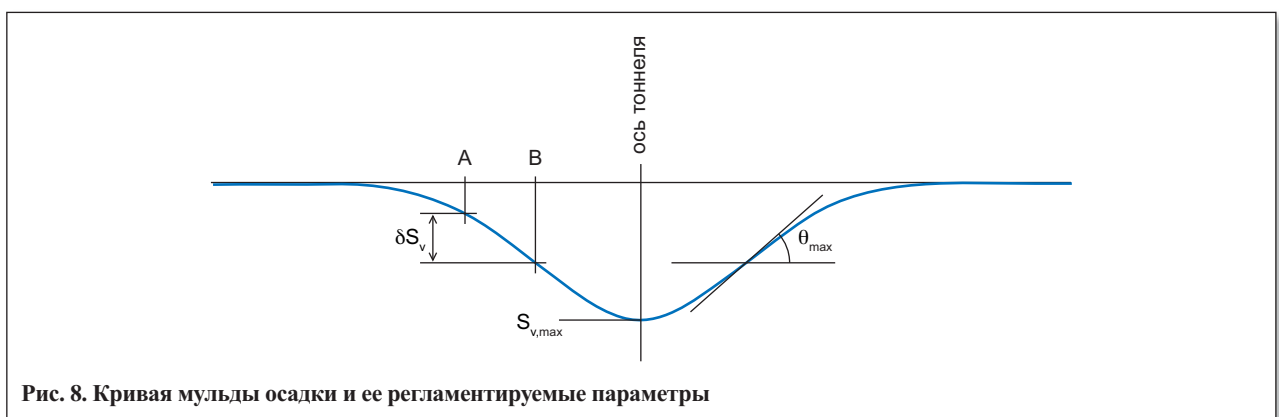


Рис. 8. Кривая мульды осадки и ее регламентируемые параметры

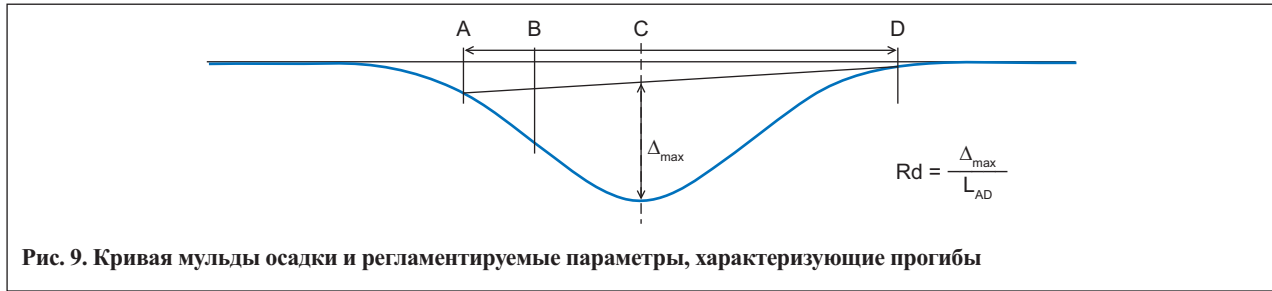


Рис. 9. Кривая мутьды осадки и регламентируемые параметры, характеризующие прогибы

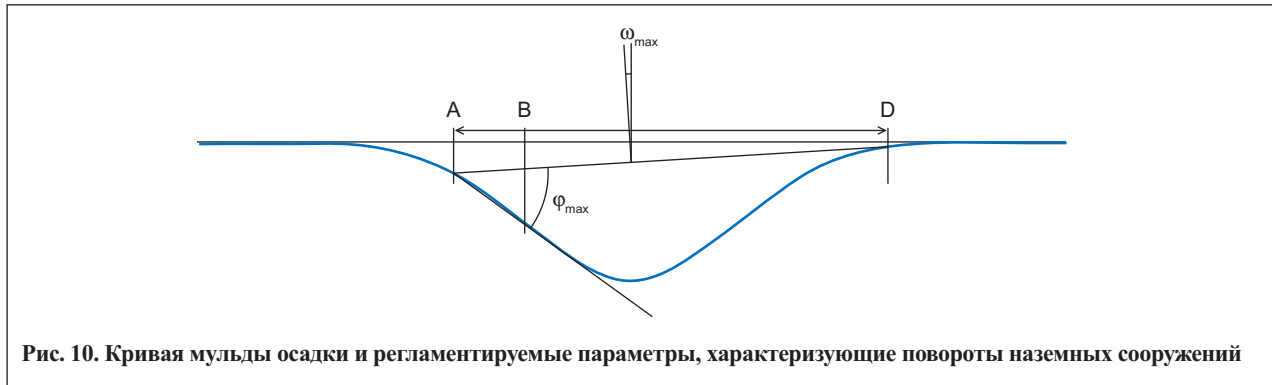


Рис. 10. Кривая мутьды осадки и регламентируемые параметры, характеризующие повороты наземных сооружений

ставленную в табл. 1, можно рекомендовать для оценки повреждений старинных зданий в исторических центрах городов. При ее разработке был учтен опыт проектировщиков, строителей метро и ученых европейских стран [11].

Эти категории могут быть разделены на три группы:

- 1) категории 1–3 соответствуют нарушениям внешнего вида (косметическим повреждениям);
- 2) категории 4–5 определяют нарушения функциональности сооружений;
- 3) категория 6 соответствует потере устойчивости и прочности здания.

В Англии существует классификация повреждений зданий, учитывающая деформации растяжения упрощенных моделей зданий, рассматриваемых как балки, работающие на изгиб, с учетом жесткости на сдвиг (табл. 2) [9]. С точки зрения автора, такая классификация в настоящее время является устаревшей, т.к. существует возможность более точной оценки деформаций зданий с использованием современных программных комплексов. Тем не менее приведем и ее, т.к. она использовалась английскими инженерами довольно продолжительное время при выполнении предварительных расчетов.

### 3.2. Методика оценки риска разрушений зданий

Для оценки риска разрушений зданий в Англии было предложено [16] использовать следующие параметры:

- 1) максимальные вертикальные перемещения частиц грунта  $S_{v,max}$ , относительные перемещения двух соседних точек грунта  $\delta S$ , и углы наклона поверхности (рис. 8);
- 2) перемещение поверхности грунта относительно прямой линии, соединяющей две точки, описывающее прогиб или выгиб в зависимости от знака величины прогиба (рис. 9);
- 3) относительный прогиб  $R_d$ , равный отношению максимального перемещения  $\Delta_{max}$  к расстоянию  $L_{AD}$ , на котором определяется этот прогиб ( $R_d = \Delta_{max} / L_{AD}$ ,

может принимать положительные значения на участках прогибов и отрицательные на участках выгибов);

- 4) угол  $\omega$ , описывающий угол наклона наземного сооружения или отдельной его части, представляемой твердым телом;
- 5) угол  $\phi$ , описывающий вращение относительно двух соседних опорных точек;
- 6) средние горизонтальные деформации  $\epsilon_h$ , определяемые изменением расстояния  $L$  между точками поверхности на величину  $\delta L$ , которые определяются выражением  $\epsilon_h = \delta L / L$ .

При проектировании тоннеля под Ла-Маншем и других тоннелей английские ученые [14] предложили для оценки воздействия их проходки на наземные сооружения использовать следующие категории оценки: (1) предварительную; (2) уточненную; (3) детальную. Это предложение принято многими проектировщиками и исследователями. Поскольку эти оценки представляют интерес, рассмотрим каждую из них более подробно.

#### 3.2.1. Предварительная оценка риска повреждений зданий

На этой стадии не учитывается наличие зданий в области возможных осадок. Оцениваются контуры и величины осадок дневной поверхности по трассе тоннеля.

В Англии было разработано руководство, в котором регламентированы максимальные величины осадок и углов наклона, способные привести к повреждениям зданий [20].

Установлено, что при максимальных вертикальных осадках свободной поверхности грунта  $S_{v,max}$  менее 10 мм и углах наклона  $\omega$  менее 1/500 риск повреждения зданий незначителен. Необходимость в оценке воздействий на здания, попадающие в область с такими параметрами, отпадает. Поэтому можно избежать большого количества сложных и ненужных расчетов.

Расчеты, используемые при предварительной оценке, очень просты, т.к. рассматриваются только дефор-

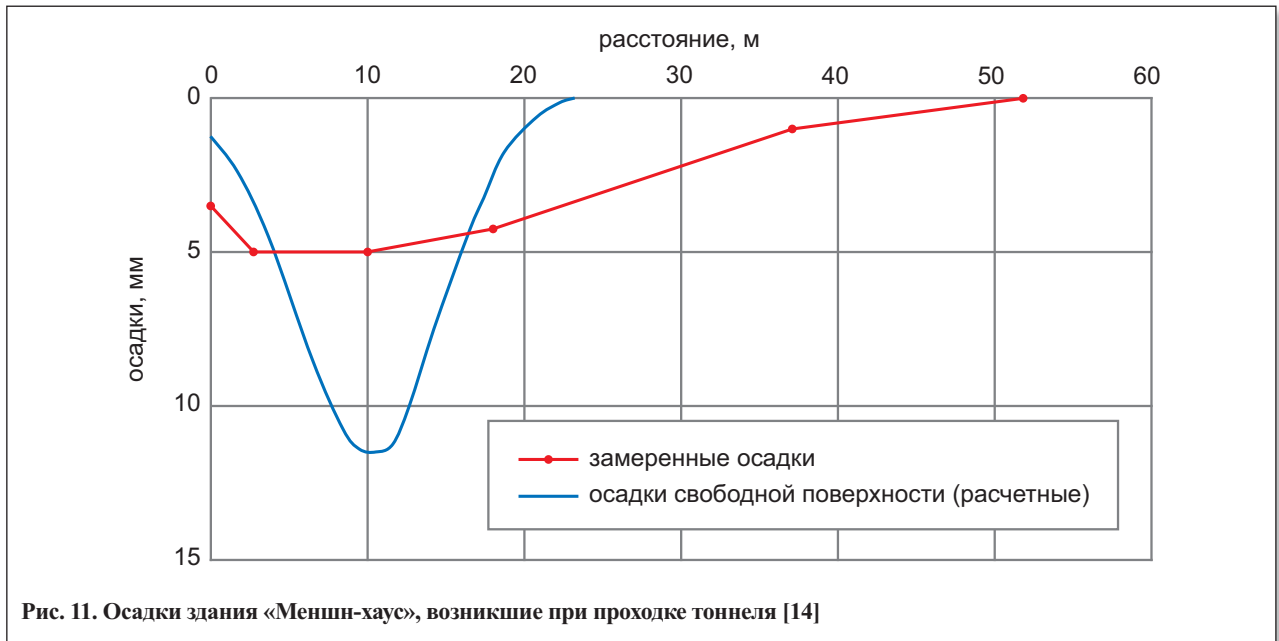


Рис. 11. Осадки здания «Менши-хаус», возникшие при проходке тоннеля [14]

мации свободной поверхности грунта. При такой оценке не требуется информация о конструкции зданий. Вышеуказанные максимальные значения осадок и углов наклона могут быть уменьшены в случае оценки воздействий на сооружения, более чувствительные к воздействиям такого рода.

Если осадки свободной поверхности грунта и углы наклона превышают вышеуказанные предельные значения, должна быть произведена уточненная оценка.

### 3.2.2. Уточненная оценка риска разрушения зданий

На стадии уточненной оценки риска разрушения зданий, также упрощенной, здание представляется упругой балкой, деформации фундамента которого повторяют деформации поверхности осадок дневной поверхности грунта. Несмотря на то что эта расчетная схема более точно описывает рассматриваемое явление по сравнению с предыдущей, она также является приближенной, т.к. предполагается, что деформация здания повторяет деформацию кривой мульды сдвига. При таком подходе используются функции, описывающие относительные прогибы  $R_d$  на различных участках кривой мульды осадок (для прогибов и выгибов) и максимальные горизонтальные деформации  $\epsilon_d$  (положительные и отрицательные). Эта информация позволяет оценить деформации «балки». В зависимости от величин деформаций определяются категории разрушений зданий.

### 3.2.3. Детальная оценка воздействия процесса проходки тоннеля на здания

При детальной оценке должны быть приняты в расчет особенности конструкций зданий и тоннелей. Расчеты должны учитывать трехмерный процесс проходки тоннеля и ориентацию зданий по отношению к нему.

Учет взаимодействия фундамента здания с грунтом является одним из важнейших факторов, позволяющих оценить влияние жесткости здания на деформации дневной поверхности грунта. На рисунке 11 представлено сравнение расчетных кривых осадок грунта при проходке железнодорожного тоннеля на

одном из подземных участков (под зданием «Менши-хаус») Доклендского легкого метро (Docklands Light Railway, DLR) в г. Лондоне с замеренными осадками. Из анализа этих кривых следует, что при наличии здания максимальные углы наклона поверхности грунта и максимальные осадки, возникающие при проходке тоннеля, меньше по сравнению с таковыми при проходке тоннеля под свободной дневной поверхностью.

Учитывая это, Потс и Адденброке [19] разработали методику учета взаимодействия грунта со зданием для оценки влияния на него осадок, что снижает категорию повреждаемости этого здания и позволяет сократить количество детальных расчетов при проектировании тоннелей (при выполнении детальных расчетов используются различные программные комплексы: PLAXSIS, MIDAS и др.).

## 4. ВЫВОДЫ

1. При проходке тоннелей неглубокого заложения в условиях городской застройки возможны техногенные воздействия на существующие здания и сооружения, которые проявляются в виде осадок грунта и вибраций.
2. Осадки и вибрации поверхности грунта могут повредить здания, представляющие историческую ценность.
3. Для оценки риска повреждения зданий из-за осадок поверхности грунта при щитовой проходке на предварительной стадии проектирования можно использовать упрощенные формулы, полученные автором с использованием «теоремы взаимности».
4. Автором предлагается проект классификации возможных повреждений зданий при щитовой проходке тоннелей.
5. При разработке методики оценки риска повреждений зданий при щитовой проходке тоннелей можно воспользоваться опытом английских ученых [14] и результатами исследований, выполненных в России [1, 3, 4].



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демешко Е.А., Ходош В.А. Прогнозирование осадок поверхности при щитовой проходке тоннеля в песчаных грунтах // Метрострой. 1963. № 3-4. С. 50–53.
2. Курбацкий Е.Н. Использование теоремы взаимности для оценки уровней вибраций поверхности упругого полупространства от точечного источника, расположенного внутри полупространства // Вестник МИИТа. 2005. № 13. С. 32–37.
3. Лиманов Ю.А., Артюков Е.И. Осадки земной поверхности при сооружении тоннелей в четвертичных отложениях // Транспортное строительство. 1972. № 2. С. 45–47.
4. Поправко А.К., Молчанов В.С., Савельев Ю.А. Осадка земной поверхности при строительстве Новосибирского метрополитена // Вопросы проектирования, строительства и эксплуатации искусственных сооружений на железных дорогах: межвузовский сборник научных трудов. Новосибирск: НИИЖТ, 1986. С. 93–97.
5. СНиП 2.02.01-83\*. Основания зданий и сооружений. М.: Госстрой СССР, 1985 (по сост. на 1995 г.).
6. СНиП III-44-77. Правила производства и приемки работ. Часть III. Тоннели железнодорожные, автодорожные и гидротехнические. Метрополитены. Глава 44. М.: Госстрой СССР, 1977 (по сост. на 1997 г.).
7. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1979. С. 550.
8. Attewell P.B., Woodman J.P. Predicting the dynamics of ground settlement and its derivatives caused by tunnelling in soil // Ground Engineering. 1982. V. 15. № 7. P. 13–22, 36.
9. Boscardin M.D., Cording E.J. Building response to excavation-induced settlement // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1989. V. 115. № 1. P. 1–21.
10. Burland J.B., Standing J.R., Jardine F.M. Assessing the risk of building damage due to tunnelling — lessons from the Jubilee Line Extension, London // Geotechnical Engineering. Meeting society's need. Lisse, the Netherlands: Swets and Zeitlinger, 2001. V. 1. P. 17–44.
11. Burland J.B., Standing J.R., Jardine F.M. Assessing the risk of building damage due to tunnelling — lessons from the Jubilee Line Extension, London // Geotechnical Engineering. Meeting society's need. Lisse, the Netherlands: Swets and Zeitlinger, 2001. V. 1. P. 17–44.
12. Frischmann W.W., Hellings J.E., Gittoes S., Snowden C. Protection of the Mansion House against damage caused by ground movements due to the Docklands Light Railway Extension // Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering. 1994. V. 107. P. 65–76.
13. Kimura T., Mair R.J. Centrifugal testing of model tunnels in soft clay // Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Rotterdam, the Netherlands: Balkema, 1981. V. 1. P. 319–322.
14. Mair R.J., Taylor R.N., Bracegirdle A. Subsurface settlement profiles above tunnels in clays // Geotechnique. 1993. V. 43. № 2. P. 315–320.
15. Nyren R.J. Field measurements above twin tunnels in London clay / Author's abstract of PhD thesis. London: Imperial College, University of London, 1998.
16. O'Reilly M.P., New B.M. Settlements above tunnels in the United Kingdom — their magnitude and prediction // Tunneling 82. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 1982. P. 55–64.
17. O'Reilly M.P., New B.M. Settlements above tunnels in the United Kingdom — their magnitude and prediction // Tunneling 82. London: The Institution of Mining and Metallurgy, 1982. P. 55–64.
18. Park K.H. Analytical solutions for tunnelling-induced ground movements in clays // Tunnelling and Underground Space Technology. 2005. V. 20. P. 249–261.
19. Potts D.M., Addenbrooke T.I. A structure's influence on tunnelling-induced ground movements // Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering. 1997. V. 125. P. 109–125.
20. Rankin W.J. Ground movements resulting from urban tunnelling: predictions and effects / Engineering geology of underground movements. London: The Geological Society, 1988. P. 79–92.
21. Standing J.R., Nyren R.J., Burland J.B., Longworth T.I. The measurement of ground movement due to tunnelling at two control sites along the Jubilee Line Extension // Proceedings of the International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground. Rotterdam: Balkema, 1996. 751 p.
22. Verruijt, A., Booker, J.R., 1996. Surface settlements due to deformation of a tunnel in an elastic half plane // Geotechnique 46 (4) P. 753–756.



Рецензии

# АКТУАЛЬНАЯ МОНОГРАФИЯ ПО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМУ ЗАКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ

## AN ACTUAL MONOGRAPH ON ELECTROCHEMICAL SOIL SOLIDIFICATION

**КОРОЛЕВ В.А.**

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, korolev@geol.msu.ru

**KOROLEV V.A.**

Professor, department of engineering and ecological geology, geological faculty, M.V. Lomonosov Moscow State University, korolev@geol.msu.ru

**Ключевые слова:**

электрохимическое закрепление грунтов; контролируемое закрепление; слабые глинистые грунты; техническая мелиорация грунтов; экспериментально-аналитические исследования; монография.

**Key words:**

electrochemical soil solidification; controlled solidification; soft clay soils; soil improvement; experimental and analytical studies; monograph.

**Аннотация**

Статья представляет собой рецензию на монографию **С.М. Простова, А.В. Покатилова и Д.И. Рудковского «Электрохимическое закрепление грунтов»**, изданную в 2011 году Томским университетом. Обосновывается актуальность монографии, кратко рассматриваются ее содержание и основные выводы.

**Abstract**

The article is a review of the «Electrochemical soil solidification» monograph by **S.M. Prostov, A.V. Pokatilov and D.I. Rudkovsky** published by Tomsk University in 2011. The actuality of the monograph is justified, its content and main conclusions are briefly described.

Недавно в Издательстве Томского университета вышла интересная и актуальная монография «Электрохимическое закрепление грунтов»<sup>1</sup>. В книге излагаются результаты экспериментально-аналитических исследований по выявлению закономерностей изменения физических, физико-химических и физико-механических свойств водонасыщенных малопроницаемых глинистых грунтов при двух- и одноразовом электрохимическом закреплении. В ней приводятся обоснование и разработки технологических и технических решений по контролируемому закреплению грунтовых массивов при проходках различных горных выработок и строительстве всевозможных сооружений в слабых глинистых грунтах.

Метод электрохимического закрепления (ЭХЗ) слабых глинистых грунтов, основанный на применении поля электрического тока и сопровождающих его явлениях электроосмоса, электрофореза, электролиза, электромиграции и т.п., известен в технической мелиорации грунтов давно. Работами многих отечественных исследователей (Л.С. Амаряна, Н.Ф. Бондаренко, Б.Е. Бронштейна, Б.П. Горбунова, Г.Н. Жинкина, Р.С. Зянгилова, Р.И. Злочевской, В.Ф. Колганова, А.С. Коржуева, В.А. Королева, А.И. Котова, Л.И. Курденкова, Г.М. Ломизе, Н.И. Титкова и др.), выполненными в 1930–1980-е гг., была обоснована применимость данного метода для закрепления различных дисперсных грунтов. На их основе технологии ЭХЗ грунтов были успешно внедрены в строительство, горно-геологические работы, инженерную защиту территорий, практику технической мелиорации грунтов и т.п. Однако в начале 1990-х гг. интерес к этому методу снизился в связи с распадом СССР и ликвидацией в стране многих использовавших его производственных и научно-исследовательских организаций. Применение метода ЭХЗ тогда не получило должного дальнейшего распространения в строительстве и горном деле, значительно

<sup>1</sup> Простов С.М., Покатилов А.В., Рудковский Д.И. Электрохимическое закрепление грунтов. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2011. 294 с.



уменьшилось число публикаций по развитию соответствующих технологий и изучению связанных с ними закономерностей.

Между тем в странах Западной Европы (Нидерландах, Дании, Франции, Великобритании и др.), США, а также в Китае и Японии в тот же период данный метод продолжал активно внедряться в различных областях строительства, горного дела, технической мелиорации и при создании систем инженерной защиты территорий от опасных геологических процессов. В этих странах промышленные инновационные технологии ЭХЗ ушли далеко вперед по сравнению с Россией, а количество фирм и организаций, занимающихся их внедрением и промышленным применением, исчисляется в настоящее время сотнями.

В этой связи выход у нас в стране рассматриваемой монографии по электрохимическому закреплению грунтов является знаковым и важным событием, способным возродить интерес к методу ЭХЗ.

Данная монография написана известными российскими учеными, работающими в области ЭХЗ, управления свойствами грунтов оснований сооружений, инструментального геофизического контроля грунтовых массивов: доктором технических наук, членом-корреспондентом РАЕН, почетным работником высшего профессионального образования РФ, лауреатом премии Правительства РФ, профессором Кузбасского ГТУ С.М. Простовым и кандидатами технических наук, сотрудниками КузГТУ А.В. Покапиловым и Д.И. Рудковским.

Книга состоит из восьми глав. В первой главе авторами рассматривается в целом проблема управления свойствами неустойчивых глинистых горных пород при строительстве шахт и технических сооружений. Ими анализируются различные случаи нарушения устойчивости массивов глинистых горных пород при горнотехническом, промышленном и гражданском строительстве, методы технической мелиорации, применяемые для укрепления грунтовых массивов, электроосмотическое осушение и электрохимическое закрепление малопроницаемых глинистых горных пород с изложением физических основ и закономерностей процессов ЭХЗ, а также указанием технологических параметров ЭХЗ. Завершается глава рассмотрением методов геоконтроля и прогноза параметров зон укрепления и общим анализом состояния изучаемой проблемы и основных задач связанных с ней исследований.

Вторая глава книги посвящена исследованию свойств укрепляющих растворов, применяемых при ЭХЗ, и свойств самих закрепленных грунтов. В ней кратко приводятся данные о физических, физико-химических и физико-механических свойствах укрепляемых и закрепленных грунтов, анализируется исследование процессов гелеобразования укрепляющих растворов при ЭХЗ, а также электропроводность закрепленных грунтов. В конце главы приводятся данные об электрохимических свойствах укрепляющих растворов, используемых при ЭХЗ.

Третья глава посвящена компьютерному моделированию физических процессов электрохимического закрепления грунтов. В ней приводятся данные по теоретическому обоснованию модели ЭХЗ, исследованию влияния неоднородности электрического поля на ин-

тенсивность процесса ЭХЗ, моделированию процессов обработки грунтов многоэлектродными установками ЭХЗ, а в конце главы — по определению электробезопасных зон при реализации рассматриваемого метода.

Очень большое значение имеет четвертая глава работы. В ней приводится анализ физического моделирования процессов ЭХЗ. Начинается глава с вопросов обоснования параметров физической модели и методики исследований, параметров и разработки экспериментальной модели зон укрепления. Затем обосновывается разработка применяемых методик для экспериментальных исследований. После этого авторы анализируют результаты моделирования процессов *двухрастворного ЭХЗ* и изучения геометрических параметров зон обработки, устанавливают взаимосвязи механических и физических параметров укрепляемого массива, исследуют влияние концентрации укрепляющего раствора на интенсивность ЭХЗ. Завершается глава вопросами моделирования процессов *однорастворного ЭХЗ* грунтов.

Пятая глава монографии посвящена натурным исследованиям процессов ЭХЗ грунтов на различных объектах. Она начинается с характеристики применяемой авторами опытной установки и описания методики исследований. Затем излагаются результаты исследования процессов двухрастворного и однорастворного ЭХЗ грунтов. В данной главе приводится много интересных фактических данных, которые могут быть использованы читателями для обоснования промышленных технологий применения ЭХЗ грунтов.

Далее, в шестой главе, авторы анализируют способы и технические устройства для контролируемого ЭХЗ грунтов. Вопрос о контроле качества закрепления грунтов при реализации метода ЭХЗ имеет очень большое значение, и то, что авторы уделили ему внимание в монографии, не случайно. Они анализируют основные направления и тенденции развития технических решений в рассматриваемой области, разработку способов и устройств для контроля процессов ЭХЗ, устройств для измерения параметров ЭХЗ, способа контроля качества ЭХЗ, способов контролируемого инъекционного и электрохимического укрепления глинистых грунтов, устройств электродов-инъекторов, электросиловой установки для ЭХЗ грунтов.

Седьмая глава монографии посвящена методике расчета несущей способности упрочненной оболочки грунта. В ней авторы излагают физические предпосылки расчета напряженного состояния закрепленного массива, обосновывают параметры закрепленной оболочки в «упругом» режиме, а также параметры комбинированной крепи в «упругопластическом» режиме.

Завершается монография рассмотрением основных параметров технологии электрохимического закрепления грунтов, различных реализуемых на практике технологических схем ЭХЗ, а также расчета и анализа технико-экономической эффективности данной технологии.

В монографии представлены следующие научные достижения ее авторов.

1. Выполненные авторами теоретические исследования и компьютерные расчеты позволили разработать рациональные схемы расположения датчиков для диагностирования физического состояния зон укрепле-



ния, установить зависимости интегральных показателей качества ЭХЗ от геометрических параметров электродов-инъекторов и размеры электроопасных зон.

2. Лабораторные экспериментальные исследования авторов, включавшие физическое моделирование, позволили определить диапазоны изменения времени гелеобразования в укрепляющих силикатных растворах и основные влияющие на этот параметр факторы, установить закономерности изменения физико-механических, электромагнитных и электрохимических свойств грунтов в зоне ЭХЗ, а также взаимосвязи между ними, что может обеспечить увеличение на 10–15% точности прогноза повышения прочности закрепляемого массива грунта.

3. Разработанная авторами методика контролируемого ЭХЗ неустойчивых зон грунтовых массивов, вызывающая в единое целое технологические операции и диагностирование физического состояния грунтов, позволила им детализировать контролируемые интегральные и локальные параметры массива, установить пространственное расположение зон мониторинга и временные стадии процесса.

4. Обработка и анализ результатов натурных испытаний по реализации технологий контролируемого двух- и однорастворного ЭХЗ позволили авторам установить диапазоны основных физико-механических свойств укрепленного массива грунта, определяющих увеличение его несущей способности. При этом выбор рационального диапазона времени гелеобразования обеспечивает повышение конечной прочности на 10–15%.

5. Установленные авторами закономерности изменения несущей способности закрепленной оболочки

вокруг выработки в «упругом» и «упругоэластическом» режимах позволяют обеспечить безопасные условия строительства и эксплуатации сооружений и снизить риск техногенных аварий.

6. Использование результатов исследований авторов в строительстве и других областях позволяет за счет непрерывного диагностирования изменений свойств и физического состояния горных пород в зоне обработки повысить качество работ методами электрохимического закрепления, не менее чем на 10–15% снизить материальные (расход укрепляющих растворов, электроэнергия) и трудовые затраты на проведение укрепительных работ.

Монография хорошо оформлена, содержит много рисунков и графических материалов с фактическими данными об особенностях ЭХЗ.

В целом следует заключить, что рассматриваемая монография С.М. Простова, А.В. Показилова и Д.И. Рудковского является весьма полезным и актуальным изданием. Оно может с успехом использоваться и на производстве при обосновании применения метода ЭХЗ, и при учебном процессе во многих вузах, в частности в учебном курсе «Техническая мелиорация грунтов». Отличительной особенностью монографии является анализ вопросов контроля качества закрепления грунтов, чего не было в предыдущих аналогичных изданиях. С точки зрения рецензента, данное издание будет с интересом воспринято многими инженерами-геологами, работниками строительной и горнодобывающей отраслей, сотрудниками научно-исследовательских и проектных организаций, студентами и аспирантами университетов и геологических вузов.

**ЖУРНАЛ**

о людях  
о землетрясениях  
о неустойчивых склонах и оползнях  
о вулканах  
о наводнениях и ураганах  
...  
о прогнозировании и предупреждении ЧС  
о важности работы изыскателей

ЖУРНАЛ  
**ГеоРиск**

ЖУРНАЛ

Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095

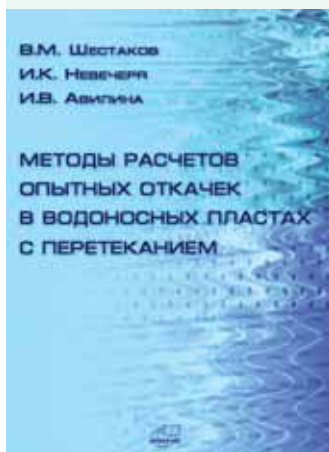
e-mail: [pr@geomark.ru](mailto:pr@geomark.ru)



*В.М. ШЕСТАКОВ, И.К. НЕВЕЧЕРЯ, И.В. АВИЛИНА*

**Издательство Научный мир, М., 2011 г.**

В монографии рассмотрены методы интерпретации данных опытных откачек (ОО) в гетерогенных водоносных пластах с проявлениями перетекания между ними. ОО составляют основную часть гидрогеологических разведочных работ, в значительной мере определяя их стоимость и эффективность. Вместе с тем методика проведения и интерпретации ОО существенно отстает от требований теории и практики, особенно при опробовании гетерогенных водоносных пластов, которое весьма актуально для объектов современных разведочных работ. В настоящей работе с общих методологических позиций рассматриваются геофильтрационные модели потоков при ОО, в которых особое внимание обращается на закономерности формирования упругой и гравитационной емкости (водоотдачи), а также на интерпретацию ОО. При этом в качестве основного инструмента для интерпретации ОО используется компьютерное моделирование, а для возможности его использования разработано программное обеспечение, доступное в Интернете.



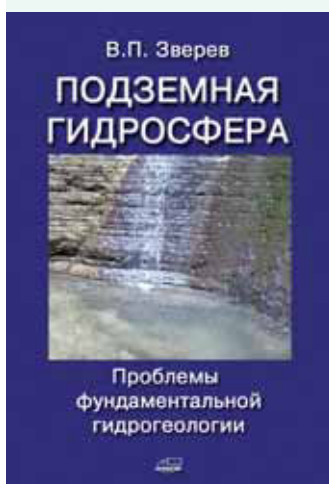
2011 г.

*В.П. ЗВЕРЕВ*

**Подземная гидросфера. Проблемы фундаментальной гидрогеологии  
Издательство Научный мир, М., 2011 г.**

Гидрогеология рассматривается как одно из фундаментальных направлений наук о Земле, имеющая определяющее значение в развитии важнейших геологических процессов и эволюции Земли.

Дана количественная оценка масс всех форм воды в основных оболочках земной коры и мантии и массопотоков подземных вод глобальных циклов их круговорота. Рассмотрены направленность и кинетика взаимодействия горных пород с подземными водами. Оценены масштабы участия и закономерности режима подземных вод в основных экзогенных и эндогенных процессах, включая гипергенез, литогенез, метаморфизм, магматизм, вулканизм. Рассмотрена роль подземных вод в формировании геофизических полей Земли и эволюции подземной гидросферы в современную эпоху. Сравнительный анализ распространения воды на Земле и планетах земной группы показал, что на Земле, где реализуются круговороты подземных вод, охватывающие земную кору и мантию, существуют условия для компенсации дегазации и дегидратации Земли, позволяющие поддерживать вулканизм и дрейф литосферных плит за время ее эволюции на постоянном уровне.



2011 г.



# ПЕРЕЧЕНЬ ПРЕДСТОЯЩИХ КОНФЕРЕНЦИЙ, СЕМИНАРОВ, ВЫСТАВОК В 2012 ГОДУ

1	7–8 июня	Всероссийская научно-техническая конференция «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении»	г. Новочеркасск
2	2–10 августа	34-й Международный геологический конгресс «Через научные достижения к всемирной глобализации в геологии, взрывобезопасности и культурному наследию» (IGC Australia 2012) и Международная специализированная выставка оборудования, технологий, услуг для геофизической отрасли «GeoExpo 2012»	г. Брисбен, Австралия
3	19–24 августа	33-я Генеральная ассамблея Европейской сейсмологической комиссии (ЕСК)	г. Москва
4	20–24 августа	Всероссийская научная конференция с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии»	г. Барнаул
5	25 августа — 9 сентября	Международная летняя школа по изучению скальных оползней и сопутствующих явлений в долине р. Кокомерен (Киргизия)	г. Бишкек, Киргизия
6	3–5 сентября	18-я Европейская конференция по геофизике Near Surface 2012	г. Париж
7	16–19 сентября	5-й Международный научно-практический Симпозиум «Природные условия строительства и сохранения храмов православной Руси»	г. Нижний Новгород
8	20–21 сентября	Международный симпозиум: «Инженерно-геологические проблемы прибрежных территорий»	г. Шанхай, Китай
9	20–22 сентября	IV Международная научная конференция «Геоэкологические проблемы современности»	г. Владимир
10	21–23 сентября	4-й Центрально-Азиатский геотехнический симпозиум «Геотехнические проблемы при строительстве и сохранении исторических объектов культурного наследия»	г. Самарканд, Узбекистан
11	24–27 сентября	Международная научно-практическая конференция «Инженерные изыскания для строительства в условиях саморегулирования»	г. Екатеринбург
12	09–11 октября	18-я Международная конференция и торговая выставка INTERGEO — 2012	г. Ганновер
13	16–18 октября	6-я Международная выставка городских технологий и развития инфраструктуры городов «CityBuild. Городские технологии - 2012»	г. Москва
14	13–14 декабря	8-я Общероссийская конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации»	г. Москва

# ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

**Принимаются оригинальные статьи по широкой тематике и основным теоретическим разделам инженерной геологии: грунтоведению, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии, а также статьи по механике грунтов, гидрогеологии и геокриологии, мониторингу геологических и литотехнических систем, технической мелиорации грунтов, методике и методам инженерно-геологических исследований, истории и методологии инженерной геологии.**

- Статьи принимаются в печатном или электронном виде (по электронной почте) объемом до 1 авторского листа (40 тыс. печатных знаков с пробелами или 10–12 страниц текста, набранного на компьютере и напечатанного шрифтом 12-го кегля с одиночным интервалом).
- Статьи сопровождаются аннотациями (до 100–150 слов) на русском и английском языках, а также списком ключевых слов (5–10 слов) также на русском и английском языках.
- Название статьи, фамилия и инициалы автора даются на русском и английском языках.
- Фамилия автора сопровождается должностью, местом его работы и электронным адресом.
- Структура статьи должна по возможности включать введение (цель, задачи работы), методику (методы) исследования, характеристику объекта исследования, результаты и выводы (заключение).
- Статья сопровождается списком цитируемой литературы, оформленным в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, составленным по алфавиту (сначала русский, затем иностранный).
- Ссылки на литературу в статье даются по номерам алфавитного списка в квадратных скобках, например, [2], [4–6] и т.п.
- Рисунки (цветные или черно-белые фотографии, штриховые рисунки, диаграммы, графики и т.п.) принимаются в электронном виде в формате jpeg, tiff или eps с разрешением не менее 300 пикселей на дюйм (или 300 dpi). Цветные карты принимаются с разрешением не менее 600 dpi.
- Рисунки сопровождаются подрисуночными подписями и нумерацией.
- Размерность физических величин и параметров дается в системе СИ.
- Таблицы сопровождаются названиями и нумерацией.
- Статьи проходят обязательное внутреннее и внешнее рецензирование, техническую редакцию, после чего автору высылается верстка для окончательной проверки.
- После публикации статьи в журнале автору высылается по e-mail электронная версия опубликованной статьи в формате pdf. После выхода номера в свет автор может бесплатно получить в редакции до трех экземпляров журнала.
- С аспирантов плата за статьи не взимается.

**Адрес редакции:**

**105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.**

**Тел./факс: +7 (495) 366-2684, 366-2095.**

**E-mail: [geo@pniis.ru](mailto:geo@pniis.ru)**

