Название журнала	ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ				
Издательство	Геомаркетинг				
Год выпуска	2012	Том		Номер выпуска	2

	Название статьи	Страницы	Цит.
	КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА		
	К ЮБИЛЕЮ В.Т. ТРОФИМОВА!	4-5	0
	К 75-ЛЕТИЮ ВИКТОРА ТИТОВИЧА ТРОФИМОВА	6-10	0
	ГРУНТОВЕДЕНИЕ		
	SEISMIC LIQUEFACTION OF SOILS: ENGINEERING EVALUATION AND CLASSIFICATION Voznesensky E.A., Kushnareva E.S.	11-23	1
	ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ И ДОЧЕТВЕРТИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ Каширский В.И., Дмитриев С.В., Знаменский Е.Н., Балёкин М.В., Бизов А.Н.	24-33	0
	ОБ ЭФФЕКТЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ В МОНТМОРИЛЛОНИТОВОЙ ГЛИНЕ Габибов Ф.Г., Кульчицкий Л.И., Габибова Л.Ф.	34-39	0
	ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ		
	ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИЙ Середин В.В., Галкин В.И., Растегаев А.В., Лейбович Л.О., Пушкарева М.В.	40-45	16
	ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ		
	ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ГОРОДЕ ХАНОЙ Тхинь Ф.Х., Строкова Л.А., Минь Н.Н.	46-53	2
	ОБОСНОВАНИЕ ДРЕНАЖА И ПРОГНОЗ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА В ЯКУТИИ Пашковский И.С., Потапова Е.Ю.	54-62	0
	ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ		
	МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ Галкин А.Н.	63-74	3
	ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	75-76	0

К ЮБИЛЕЮ В.Т. ТРОФИМОВА!

11 апреля 2012 года крупнейшему ученому Российской Федерации в области инженерной геологии Виктору Титовичу Трофимову исполняется 75 лет. В современной российской инженерной геологии Виктор Титович, несомненно, занимает первое место. Доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета, проректор МГУ им М.В. Ломоносова, Виктор Титович всю свою жизнь посвятил науке. Тысячи студентов прослушали лекционные курсы Виктора Титовича, сотни студентов написали дипломные и курсовые работы под его руководством, десятки кандидатских и докторских работ были подготовлены в соответствии с его советами как научного руководителя.

Виктор Титович удивительно многогранный ученый. Известны и вызывают неизменное уважение его научные работы по инженерной геологии Западной Сибири, геокриологии, грунтоведению, в том числе лёссовым грунтам, вопросам геологического образования, экологический геологии, инженерно-геологические карты, труды, посвященные теории инженерно-геологического картирования, в частности инженерно-геологического районирования.

Виктор Титович является академиком Российской академии естественных наук. Российской академии наук, на мой взгляд, должно быть стыдно, что Трофимов не был избран ее членом, в то время когда гораздо менее заметные научные сотрудники получали это звание. Когда мы готовили этот номер журнала «Инженерная геология», появилась мысль напечатать полный список научных работ юбиляра. От этого нам пришлось отказаться. Виктор Титович является автором более 900 научных работ, в том числе десятков монографий, и только список его научных работ занимает около 200 страниц!

Виктор Титович удивительно скромный в быту человек. Коллекционер минералов. В человеке в телогрейке с лопатой или граблями в деревне Богдарня Владимирской области или на субботнике около главного здания МГУ, на прогулке с собакой около дома на проспекте Вернадского сложно бывает узнать одного из наиболее ярких, четких и умеющих удивительно логично мыслить профессоров МГУ.

Самые важные в жизни Виктора Титовича люди — это его жена Елена Петровна, окончившая геологический и соседний географический факультет, кандидат геолого-минералогических наук (с которой он познакомился еще в годы совместной учебы в университете), и сын Сережа, тоже окончивший геологический факультет МГУ. Когда мы говорим о Викторе Титовиче и желаем ему счастья, радости, здоровья, это и пожелания его близким.

С юбилеем Вас, Виктор Титович! Этот номер журнала «Инженерная геология» инженерная геология страны посвящает Вам!

М.И. Богданов

НЕКОТОРЫЕ ТРУДЫ В.Т. ТРОФИМОВА

- Лессовые породы Сибири. Западная часть Западно-Сибирской низменности. В книге «Лессовые породы СССР». Изд. «Наука», М., 1966. (Совместно с А.В.Минервиным)
- Грунтоведение (учебник для студентов высших учебных заведений по специальности гидрогеология и инженерная геология). Изд-во Московского ун-та, 1971. (Совместно с Е.М.Сергеевым, Г.А.Голодковской и др.)
- Объяснительная записка Инженерно-геологической карты Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:1500 000. Изд-во МГУ. 1972. (Совместно с Е.М.Сергеевым, А.С.Герасимовой)
- Карта грунтовых толщ Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:1 500 000. (Участие в составлении)
- Полуостров Ямал (Инженерно-геологический очерк). Изд-во МГУ, 1975. (Совместно с Ю.Б.Баду, В.Г.Кудряшовым Н.Г.Фирсовым)
- Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий на примере Западно-Сибирской плиты). М., 1976. Фонды геологического факультета МГУ (диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук)
- Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. Изд-во МГУ, 1977.
- Gruntoznawstvo (грунтоведение). Warszawa 1977. (Совместно с Б.Грабовской-Ольшевской, Е.Мыслинской, В.И.Осиповым, Е.М.Сергеевым, Р.С.Зиангировым)
- Криогенное строение и льдистость многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. Изд-во МГУ, 1980. (Совместно с Ю.Б.Баду, Г.И.Дубиковым)
- Грунтоведение, вып.5 (учебник). Изд-во МГУ, 1983. (Совместно с Е.М.Сергеевым и др.)
- Грунтовые толщи. Изд-во МГУ. 1984. (Совместно с М.П.Кропоткиным и др.)
- Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М., Недра, 1985. (Совместно с Е.М.Сергеевым и др.)
- Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности). Изд-во МГУ, 1986. (Совместно с Ю.Б.Баду, Ю.К.Васильчуком и др.)
- Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты. М.: Наука, 1987. (Совместно с Н.Г.Фирсовым, Ю.К.Васильчуком и др.)
- Типы и инженерно-геологическая характеристика многолетнемерзлых торфяных массивов. Изд-во МГУ, 1988. (Совместно с П.И.Кашперюком)
- О системах и методах инженерно-геологического районирования. Вестник Моск. ун-та, Серия 4. Геология. 1988. №6. (Совместно с М.И.Богдановым)
- Грунтовые толщи Западно-Сибирской плиты. Изд-во МГУ, 1988. (Совместно с Н.Г.Фирсовым и др.)
- Прогноз изменений природных условий Западной Сибири. Изд-во МГУ, 1988. (Совместно с О.Л.Лисс и др.)
- Геокриология СССР Западная Сибирь. М.: Недра, 1989. (Совместно с Ю.К.Васильчуком и др.)
- Engineering Geology of the Earth. M., 1989. (Совместно с Е.М.Сергеевым и др.)
- Инженерно-геологическое районирование (теория и практика). М., 1989. (Соавтор с М.И.Богдановым)
- Карта прогноза просадочности территории распространения лессовых пород в СССР. Масштаб 1:2500 000. ГУГК СССР, 1989. (Соавтор)
- Квазитиксотропные изменения в глинистых грунтах. Изд-во МГУ, 1990. (Совместно с Е.А.Вознесенским и др.)
- Инженерная геология СССР. Западно-Сибирская и Туранская плиты. Книга 1, 2. М.: Недра. 1990. (Совместно с А.С.Герасимовой и др.)
- Грунтоведение (на китайском языке). Китай, 1990. (Совместно с Е.М.Сергеевым и др.)
- Карта мощности и строения многолетнемерзлых толщ Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:1000 000. Картфабрика Центргеологии. 1991. (Совместно с В.В. Баулиным и др.)
- Карта генетических типов и льдистости верхней 10-метровой части разреза многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской плиты. Масштаб 1:1000 000. Картфабрика Центргеологии. 1991. (Совместно с Ю.Б.Баду и др.)
- Содержание, структура и современные задачи инженерной геологии. Изд-во Моск. ун-та, 1995.
- Концепция геологического образования в России (проект). М.: Издание геол. ф-та МГУ, 1997. (Совместно с В.А.Богословским)
- Инженерная геология в Московском университете. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. (Совместно с А.С.Герасимовой и З.А.Кривошеевой)
- Генезис просадочности лессовых пород. Изд-во Моск. ун-та, 1999.
- Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение. Изд-во Моск. ун-та, 1999.
- Экологические функции литосферы. Изд-во Моск. ун-та, 2000. (Совместно с Д.Г.Зилингом и др.)
- Лессовый покров Земли и его свойства. Изд-во Моск. ун-та, 2001. (Совместно с С.Д.Балыковой)
- Инженерно-геологические структуры Земли. Изд-во Моск. ун-та, 2001. (Совместно с Т.И.Аверкиной и Д.А.Спиридоновым)
- Эколого-геологические карты. Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2002. (Совместно с Д.Г.Зилингом и др.)
- Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. Изд-во Моск. ун-та, 2002.
- Теория формирования просадочности лёссовых пород. М.: Геос, 2003.
- Логика и содержание карты современного состояния верхних горизонтов земной коры как фактологической основы для составления эколого-геологических карт. Изд-во Моск. ун-та, 2004. (Совместно с Д.Г.Зилингом и др.)
- Грунтоведение (издание 6). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. (Совместно с В.А.Королевым и др.)
- Лекции по экологической геологии. Изд-во Моск. ун-та, 2005.
- Формирование экологических функций литосферы. Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2005. (Совместно с Д.Г.Зилингом)
- Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза. М.: Ноосфера, 2006. (Совместно с Д.Г.Зилингом и др.)
- Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: Геос, 2007. (Совместно с Т.И.Аверкиной)
- Инженерно-геологические карты. М.: Книжный дом «Университет», 2007. (Совместно с Н.С.Красиловой)
- Эколого-геологические карты. Теоретические основы и методика составления. М.: Высшая школа, 2007. (Совместно с Д.Г.Зилингом, М.А.Харькиной и др.)
- Опорные инженерно-геологические разрезы лёссовых пород Северной Евразии. М.: Книжный дом «Университет», 2008. (Совместно с С.Д.Балыковой, Т.В.Андреевой и др.)
- Инженерная геология массивов лёссовых пород. М.: КДУ, 2008.
- Экологическая геодинамика. М.: КДУ, 2008. (Совместно с М.А.Харькиной и И.Ю.Григорьевой)
- Инженерно-геологические карты. М.: КДУ, 2008. (Совместно с Н.С.Красиловой)
- Трофимов В.Т., Королев В.А. Развитие эколого-геологических работ на практике//Учебная практика по полевым методам в Звенигороде. М.: ОАО «ПНИИИС», 2010.

К 75-ЛЕТИЮ ВИКТОРА ТИТОВИЧА ТРОФИМОВА

11 апреля 2012 года исполняется 75 лет профессору Московского государственного университета Виктору Титовичу Трофимову — замечательному российскому инженеру-геологу, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки Российской Федерации, заведующему кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета, проректору МГУ имени М.В. Ломоносова. В.Т. Трофимов — крупный ученый-геолог, организатор науки и высшего образования в России, один из создателей и хранителей современной школы инженеров-геологов в Московском университете, которая возникала и развивалась сначала на его глазах, а затем под его руководством и во многом благодаря его усилиям. В.Т. Трофимов — один из безусловных лидеров отечественной геологической науки, который разработал многие современные теоретические положения региональной инженерной геологии и грунтоведения и внес существенный вклад в разработку нового направления современной геологии — экологической геологии.

В 1996 году в структуру кафедры инженерной и экологической геологии по приказу ректора МГУ была введена новая лаборатория «Экологическая геология», научным руководителем которой стал В.Т. Трофимов. Под его руководством создана целая серия монографий, посвященных разработке проблем экологической геологии, открыта новая специализация по экологической геологии и в учебные программы введены новые курсы, в которых рассматриваются экологические вопросы геологии. Виктор Титович является автором научных работ, которые могли бы составить целую научную библиотеку в области инженерной и экологической геологии и высшего геологического образования: им подготовлено более 900 научных работ, в том числе несколько десятков монографий, учебников и учебных пособий, изданных геологических, инженерно-геологических и геокриологических карт.

Научная и педагогическая деятельность юбиляра отмечена многочисленными премиями, наградами и почетными званиями, перечень которых (возможно неполный) приведен в конце нашего очерка и о которых, кстати сказать, многие его коллеги по работе часто узнают только случайно — настолько Виктор Титович не любит выставлять это напоказ. Но сегодня есть повод, и нам это простительно.

От всей души поздравляя Виктора Титовича с замечательной датой, мы — его коллеги и ученики — хотели бы сказать о некоторых важных и очень дорогих нам чертах его характера, рассказав при этом — к месту или не очень — о запомнившихся эпизодах жизни, работы

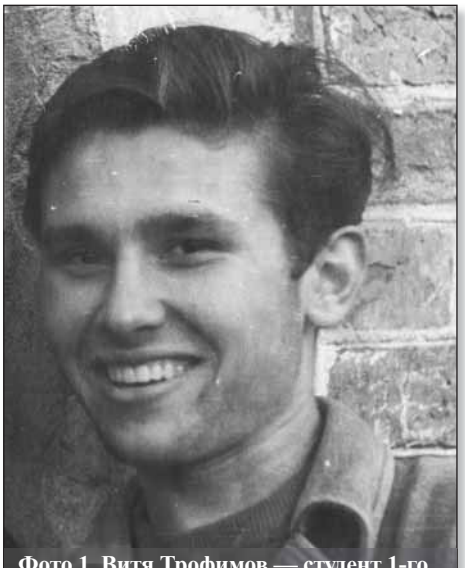


Фото 1. Витя Трофимов — студент 1-го курса геологического факультета МГУ

Фото 2. На производственной практике

Фото 3. Ханты-Мансийск, ул. Сирина дом, 52 — здесь в 1970–1980-х годах базировалась Тюменская экспедиция геологического факультета МГУ

и просто нашего общения с этим прекрасным человеком. Во всех случаях, где ниже встречается местоимение «я» или «мы», его следует отождествлять с лирическим героем «обобщенного» инженера-геолога — коллективного автора этих строк. Профессор Г.С. Золотарев любил говорить: «Нигде столько не врут, как на юбилеях». Но все же все, что написано в этом очерке, — правда.

Виктор Титович Трофимов родился в Москве в 1937 году в семье выпускников биологического факультета МГУ. Его отец был старшим научным сотрудником, заведующим дендрарием Ботанического сада МГУ, а мать — учителем химии в средней школе на Басманной, недалеко от Разгуляя. Там же неподалеку и жила семья Трофимовых. В 1955 году после окончания школы с серебряной медалью Витя Трофимов поступил на геологический факультет МГУ (фото 1, 2) — на кафедру грунтоведения и инженерной геологии, которую окончил с отличием в 1960 году, и больше не расставался с Московским университетом, постоянно работая на кафедре грунтоведения и инженерной геологии (с 1986 г. — кафедра инженерной геологии и охраны геологической среды, а с 1995-го — кафедра инженерной и экологической геологии). Здесь он прошел трудовой путь от старшего

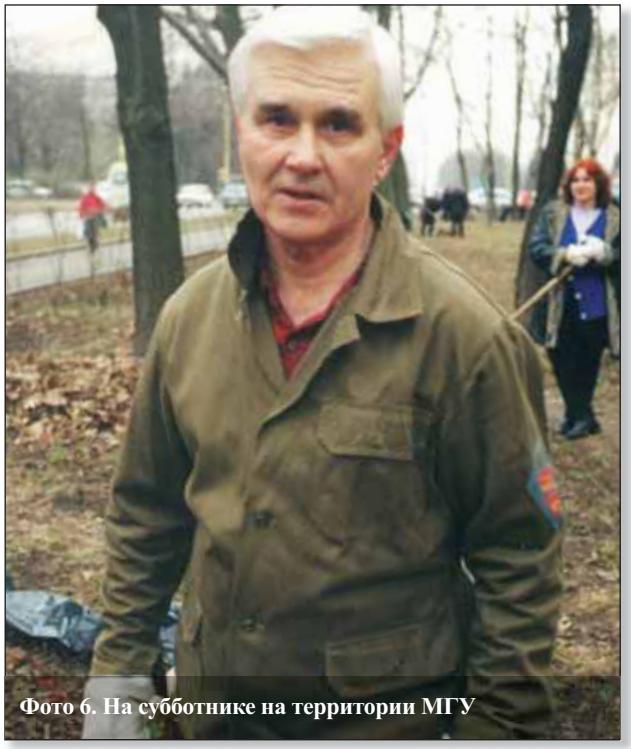


Фото 6. На субботнике на территории МГУ

Фото 4. Западная Сибирь, 1979 год. Лицом стоят (слева направо): В.Г. Волнухин, В.Т. Трофимов, Н.Г. Фирсов

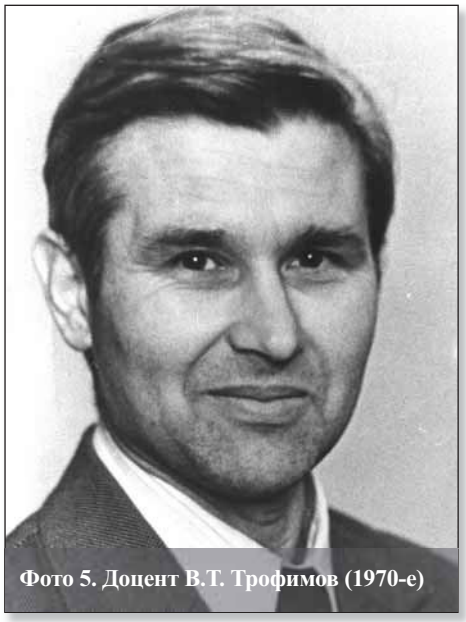


Фото 5. Доцент В.Т. Трофимов (1970-е)

Фото 7. Ректор МГУ В.А. Садовничий и проректор МГУ В.Т. Трофимов (1996 г.)

лаборанта (1960–1963) и ассистента (1963–1969) до профессора (с 1978 г.) и заведующего кафедрой (с 1989 г). В 1964 году защитил кандидатскую, а в 1976-м — докторскую диссертацию на тему «Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий». В 1987–1992 годах он — декан геологического факультета МГУ, а с 1992 года — проректор Московского университета.

Научная деятельность Виктора Титовича неразрывно связана с исследованием инженерно-геологических и геокриологических условий Западной Сибири. На протяжении почти тридцати лет Виктор Титович сначала работал в составе Обской экспедиции (1962–1964), а в последующие годы был начальником (1965–1979) и научным руководителем (1979–1991) Тюменской инженерно-геологической экспедиции геологического факультета МГУ, которая вела инженерно-геологическую и геокриологическую съемку по всей Западной Сибири — от Тобольска до Салехарда. Многие выпускники кафедры получили свой первый и незабываемый опыт полевой работы в отрядах этой экспедиции. При этом образ Трофимова постоянно «витал» над всеми отрядами экспедиции, даже при его физическом отсутствии в поле в тот или иной сезон. Его трудолюбием и трудоспособностью пугали «зеленых» студентов-практикантов: «Трофимова на тебя нет — уже давно бы за это время 5-метровый шурф выкопал…».

«В конце 1970–1980-х годов экспедиция базировалась в г. Ханты-Мансийске, напоминавшем в то время скорее большое село, в частном доме № 52 по ул. Сирина (фото 3) — у «тети Зины», где арендовались сарай и 1 комната, а на краю огорода лежали наши лодки. Нижняя часть сарая была складом, кухней, столовой и камералкой одновременно, а на его чердаке в ряд стояли раскладушки, где мы и спали. В 1979 году Виктор Титович забыл (или оставил) на базе свою кепку — там она и висела в кухне на гвоздике под балкой. Бывало, прохладными уже сентябрьскими вечерами следующих лет вздохнет кто-нибудь после ужина, глядя на нее: «Поношу, что ли, кепку Титыча – может, поумнею…». Авторитет его был непререкаем: вернуться в Москву, не выполнив полностью задания, было немыслимо, помешать могла только стихия, например слишком низкая вода, делавшая непроходимыми для моторок небольшие реки».

По материалам экспедиционных исследований Виктор Титович защитил кандидатскую и докторскую диссертации, под его руководством составлена целая серия инженерно-геологических и мерзлотных карт разных масштабов на всю территорию Западной Сибири, разработана классификация современных геологических процессов, издано шесть крупных монографий, среди которых «Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий», «Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты» и др. Целый ряд сотрудников экспедиции и аспирантов, участвовавших в ее работе, также защитили диссертации на этом богатейшем полевом материале под руководством В.Т. Трофимова.

Фото 8. Старые знакомые еще по Западной Сибири —В.С. Черномырдин и В.Т. Трофимов у главного входа в МГУ

В 1987 году на геологическом факультете МГУ проходили выборы декана. Таких выборов факультет не знал ни до, ни после. Это было начало перестройки, время больших надежд и всеобщего воодушевления под лозунгами ускорения и гласности. Выборы проходили на расширенном заседании Ученого совета в самой большой 611-й аудитории, где собрался весь факультет. На пост декана претендовали 3 человека, в том числе В.Т. Трофимов. Каждый кандидат выступал со своей предвыборной программой. Когда на трибуну поднялся Виктор Титович, он начал примерно так: «Предыдущие кандидаты говорили о том, что должен делать будущий декан для развития факультета, я же начну с того, что декан делать не должен». Дальше по пунктам перечислялись эти «не». Один из пунктов гласил: «Декан не должен выделять свою кафедру и предоставлять ей какие-либо привилегии». Аудитории этот тезис, конечно, очень понравился. Обсуждение кандидатур и их программ проходило, как никогда, эмоционально. Причем не только на совете, но и в кулуарах. В общем, это была настоящая предвыборная борьба. Большинством голосов деканом геологического факультета был избран В.Т. Трофимов. На этом посту он проработал до 1992 года, когда стал проректором МГУ.

«Виктор Титович как преподаватель – тема неисчерпаемая. Мне кажется, что именно обучение инженерной геологии всегда было и остается делом его жизни больше, чем что-либо другое. В Московском университете в разные годы он читал и читает многие основные лекционные курсы («Грунтоведение», «Инженерная геология», «Инженерно-геологическое картирование», «Региональная инженерная геология», «Организация и планирование инженерно-геологических исследований», «Инженерная геология массивов лессовых пород», «Введение в специальность», «Экологическая геология»). Огромна его организационно-педагогическая и методическая работа: в 1988–1992 годах он возглавлял УМО страны по геологии, обосновал и добился включения самостоятельного направления «Геология» в число приоритетных естественно-научных дисциплин, под его руководством разработана и в 1999 году утверждена Концепция геологического образования в России, бесчисленны разработанные им учебные программы и планы».

Фото 9. «Дерзайте, ныне ободренны, раченьем вашим показать…». На конференции «Университеты на пороге 3-го тысячелетия»

«Мне повезло – уже став профессором, Виктор Титович еще вел у нас практикум по грунтоведению (фото 4), а это — основополагающая вещь. Строгий, требовательный, немного насмешливый, не допускающий прогулов («Геолог не приходит на лекцию только мертвый…») — его занятия и тетрадь с «плюсиками» и точками в лиловой обложке помнит вся группа. Я и сейчас порой заглядываю в его лекции… Кто-то из ребят замечен со шпаргалкой: «Мухлюешь? А если бы ты жульничал в преферанс, что бы сказали партнеры?» — «Так канделябром же, Виктор Титович…».

И вот на четвертом курсе я пишу у него курсовую работу. Дело близится к защите, накануне вечером выясняется, что мне надо нарисовать на плакате карту масштаба 1:5000. Рисую всю ночь, на протяжении всего заседания комиссии по защите курсовых работ, рисую, рисую… В лабораторию грунтоведения входит Виктор Титович: «Ну ладно, иди домой, на сегодня комиссия закончила свою работу, завтра будешь защищаться…» А потом диплом, аспирантура, и в голове надолго, думаю, что навсегда, остается фраза: «Думай сама. Кто пишет работу, ты или я?» И вот она, предзащита. Возникли затруднения, надо менять тему, сокращать текст, и вдруг: «Если она изменит хоть слово, будет защищаться без меня!»

«Наверное, основное его качество как преподавателя — компетентность. Компетентность — категория сложная, представление о том, что преподаватель компетентен, не возникает у студентов вдруг, с чьих-то слов или с перепугу. Оно — отражение знаний и кругозора, неожиданных решений, профессиональной наблюдательности преподавателя и всяких мелочей, о которых он сам может и не задумываться… В курсовой работе черно-белая фотография: виден берег, вода и нос лодки. Подпись: «Третья надпойменная терраса р. Б. Салым». Рукой Трофимова на полях: «Это не третья, а вторая терраса». Спрашиваю: «Почему, Виктор Титович?» (фото очень «удачное» — разреза террасы не видно, вставлено в раздел «Геоморфология»…) — «Слишком низкая». — «Так вода была очень высокая». — «Да ты посмотри — лес-то какой растет. На третьей такого не бывает».

Еще один педагогический аспект – внимание к подготовке профессиональной смены: кандидатов и докторов наук, новых преподавателей. Под научным руководством В.Т. Трофимова защитили диссертации более 20 кандидатов и несколько докторов наук. Что отличает Трофимова как научного руководителя? Самыми главными кажутся 2 вещи: четко поставленные при его непосредственном участии задачи и полная творческая свобода в их решении. Он всегда поможет, если нужно. Но ему необходимо видеть научное стремление ученика, из которого в результате труда и возникнет новая квалификация. Как подготовить преподавателя? Только постепенно передавая ему свой опыт и опыт коллекти-

ва, в котором он формируется. Начать можно с практических занятий по разным предметам и отдельных — «пробных» — лекций.

«Пробная — первая в моей жизни — лекция в курсе «Грунтоведение»: стою у доски в 415-й аудитории перед студентами и своими плакатиками и боюсь не успеть рассказать о чем-нибудь из запланированного. Бесконечные полтора часа. А на самом заднем ряду сидят и внимательно слушают Е.М. Сергеев и В.Т. Трофимов… В коротком перерыве Виктор Титович передает мне записку: «Говоришь тихо-тихо и слишком быстро. Они не успевают записывать — следи, выделяй главное. После лекции у тебя не должно быть голоса, а спина должна быть мокрая». После второго часа голоса у меня не было, спина и сейчас после удачной лекции всегда мокрая. Только голос уже не пропадает. А записку я сохранил».

«Еще одна вещь, о которой хочется сказать, — это почерк Трофимова. Он всегда был трудночитаем без специальной подготовки, поэтому у нас ценились люди, которые хорошо разбирали его рукописный текст… К курсовой работе прилагалась инженерно-геологическая карта, легенду к которой я долго и старательно писал тушью. Результат привел Виктора Титовича в ярость, поэтому к защите я попросил оформить легенду свою жену. В слове руководителя Виктор Титович сказал: «Ну вот и карту в итоге неплохо оформил, а то первый раз написал — ну ей-богу хуже меня». На самом деле, как мне кажется, этот его почерк отражает определенное качество характера — он всегда спешит сделать больше, ему жаль тратить время на выписывание на бумаге того, что он уже сделал, сформулировал, надо покончить с этим скорее и дальше, дальше...»

«Уже долго мы работаем вместе на нашей кафедре. Появляются новые, как говорят, штрихи к портрету. На заседании кафедры в очередной раз поражает широта и глубина познаний во многих областях, причем не только науки. Человек невероятной трудоспособности, способный в сжатые сроки отразить свои мысли в виде статьи или монографии… Страстный коллекционер минералов и морских раковин, которого можно с раннего утра встретить на всех минералогических выставках Москвы в поисках диковин для своей коллекции. Упрямый, принципиальный человек, готовый отстаивать свое мнение на разных уровнях».

«Виктор Титович все делает идеально. Увлеченно. Все, что делает, стремится делать совершенно. Когда Виктор Титович увлекся разведением помидоров, то в его теплице эти растения непонятным мне совершенно образом достигали высоты двух с половиной метров».

Надо где-то и остановиться, но мы хотим сказать еще об одном. При внешней строгости, а порой и просто суровости Виктор Титович очень заботлив к своим друзьям и коллегам, готов помочь и поддержать в трудную минуту незаметно для окружающих… Многим из нас он помог в трудных жизненных ситуациях. Здесь обойдемся без примеров — это уже личное. Но эту его трогательную заботу мы с теплотой храним в своей памяти.

Дорогой Виктор Титович! С днем рождения! Здоровья и благополучия Вам и близким Вам людям на многие годы! Мы Вас любим и очень дорожим общением с Вами!

Ваши коллеги и ученики

Награды и почетные звания В.Т. Трофимова

- Дважды лауреат Ломоносовской премии I степени за научную (1975) и педагогическую (2002) деятельность
- Дважды лауреат Государственных премий СССР (1977, 1988)
- Лауреат Государственной премии России (1993)
- Лауреат премии МОИП I степени (1999)
- Заслуженный деятель науки Российской Федерации (1998)
- Заслуженный профессор Московского университета (1998)
- Кавалер ордена Почета (2005)
- Медаль «За доблестный труд» (1976)
- Медаль «За успехи в разведке недр» (1983)
- Медаль «Ветеран труда» (1986)
- Медаль «За отличные успехи в области высшего образования» Минвуза СССР (1987)
- Золотая медаль им. Петра I Международной академии наук о природе и обществе (1995)
- Медали ВДНХ СССР (1969, 1972, 1985)
- Медаль «В память 850-летия Москвы» (1997)
- Почетный знак РАЕН «За заслуги в развитии науки и экономики России» (1998, 2002)
- Почетный знак РАЕН «Рыцарь науки и искусства» (2000, 2003)
- Почетный знак «За заслуги перед высшей школой» АН ВШ РФ (2002)
- «Отличник разведки недр» (1979)
- «Почетный разведчик недр» (1998)
- «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации» (2008)
- Действительный член Российской академии естественных наук (с 1992)
- Действительный член Международной академии наук высшей школы (с 1993)

Другие важные обязанности В.Т. Трофимова

- Председатель диссертационного Д 501.001.30 при Московском университете
- Член секции по наукам о Земле Государственного комитета по Государственным премиям России
- Заместитель председателя Национального комитета геологов России
- Член Научного совета РАН по геоэкологии, инженерной геологии, гидрогеологии и геокриологии
- Почетный член Ломоносовского фонда (2001)

Член редколлегии журналов:

- «Вестник Московского университета. Сер. Геология» (гл. редактор в 1988–1993)
- «Инженерная геология»
- «Инженерные изыскания»
- «Геориск»
- «Бюллетень МОИП. Отд. геологический» (зам. главного редактора)
- «Известия секции наук о Земле РАЕН» (1998)
- «Минералогический альманах»
- «Мир камня»

СЕЙСМИЧЕСКАЯ РАЗЖИЖАЕМОСТЬ ГРУНТОВ: ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА И КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ

SEISMIC LIQUEFACTION OF SOILS: ENGINEERING EVALUATION AND CLASSIFICATION

ВОЗНЕСЕНСКИЙ Е.А.
Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., eugene@geol.msu.ru
КУШНАРЕВА Е.С.
Научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., kushlena@gmail.com

VOZNESENSKY E.A.
Professor, Lomonosov Moscow State University, faculty of the geology, department of engineering and ecological geology, doctor of science (Geology and Mineralogy), eugene@geol.msu.ru
KUSHNAREVA E.S.
Researcher, Lomonosov Moscow State University, faculty of the geology, department of engineering and ecological geology, kushlena@gmail.com

Ключевые слова:
пески; сейсмическая разжижаемость; классификация песков по разжижению; сжимающие напряжения; гранулометрический состав; разжижение грунта.
Key words:
sands; seismic liquefaction; liquefaction classification of sands; confining stresses; grain-size distribution; liquefaction.

Аннотация

В статье рассматриваются существующие методы оценки сейсмической разжижаемости дисперсных грунтов и предлагается классификация песков по этому признаку на основе общепринятых методов инженерно-геологической разведки с учетом величин сжимающих напряжений и гранулометрического состава грунта. Предложенная классификация позволяет по результатам полевых работ обоснованно выделить те геологические тела (слои, линзы, горизонты), для которых необходима экспериментальная оценка разжижаемости и возможных последствий разжижения; обеспечить отбор проб для этих исследований; обоснованно исключить из рассмотрения и дополнительного опробования неразжижаемые грунты; определить состав последующих экспериментальных исследований.

Abstract

The paper presents a state-of-the-art of the existing methods for evaluation of seismic liquefaction of soils and liquefaction classification of sands based on commonly adopted metods of geotechnical site investigations with consideration of confining stress and soil grain-size distribution. The developed classification allows basing on the data from site investigations, firstly, to select soundly those geological bodies (layers, lenses, horizons) which must be experimentally studied for evaluation of their liquefaction possibility and its consequences, secondly, to provide nesessary probes for these studies, thirdly, to exclude soundly from future studies non-liquefiable species and, fourthly, to determine the type and method of subsequent experimental investigations.

Введение

Оценка возможности разжижения водонасыщенных дисперсных грунтов при ожидаемых землетрясениях и его возможных последствий является важнейшей и комплексной инженерной задачей изысканий для проектирования и строительства сооружений в сейсмических районах.

Анализу механизма сейсмического разжижения грунтов, основных факторов, влияющих на их разжижаемость, методам экспериментальной и экспертной оценки возможности разжижения и его последствий посвящено большое количество специальных научных публикаций, обзор которых приведен, в частности, в монографии [2].

Под *сейсмическим разжижением грунтов* авторами понимается частный случай их динамического разжижения, представляющего собой переход водонасыщенных дисперсных грунтов в текучее состояние в результате разрушения структурных связей под действием сейсмических волн.

Возможны два механизма разжижения грунтов.

1. Разжижение *несвязного или слабосвязного грунта,* вызываемое стремлением рыхлой системы к сокращению объема при прохождении волн напряжений и «взвешиванием» частиц в воде с резким падением эффективных напряжений вплоть до их исчезновения и сопровождаемое уплотнением грунта с отжатием воды из его пор.

2. Разжижение *связного грунта,* вызываемое резким снижением его прочности в результате разрушения коагуляционной структурной сетки и падения эффективных напряжений при прохождении сейсмической волны. В результате развиваются огромные деформации, проявляющиеся как течение грунтовой массы без ее заметного уплотнения.

Целью данной работы является обзор существующих методов оценки сейсмической разжижаемости дисперсных грунтов и представление разработанной авторами классификации песков по этому признаку на основе общепринятых методов инженерно-геологической разведки с учетом величин сжимающих напряжений и гранулометрического состава грунта.

Таблица 1

Полевые методы определения динамических свойств грунтов*		
Сейсмоакустические	**Вибрационные**	**Геотехнические**
сейсмическое зондирование; сейсмопросвечивание; сейсмокаротаж; метод поверхностных волн	метод резонансного фундамента; метод «водяной пушки»; метод «цилиндра в массиве»; измерения свободных и вынужденных колебаний фундаментов	*динамическое зондирование;* *стандартная пенетрация (SPT)*; виброзондирование; *статическое зондирование (CPT)*; беккер-пенетрация (BPT); вибропенетрация; динамические испытания свай; динамическое нагружение штампов;
* Курсивом в таблице выделены методы, используемые для оценки возможности сейсмического разжижения песчаных грунтов.		

Методы оценки разжижаемости грунтов

Для оценки сейсмической разжижаемости грунтов в современной мировой практике используется величина *потенциала разжижения* F_L, имеющего физический смысл коэффициента запаса:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} = \frac{сопротивление\ разжижению}{сейсмическая\ нагрузка}, \quad (1)$$

где *CSR* — приведенная амплитуда динамических касательных напряжений (cyclic stress ratio), д.ед.; *CRR* — критическое значение приведенной амплитуды динамических касательных напряжений (cyclic resistance ratio), д.ед.

Величина *CSR* определяется расчетом по прогнозируемым параметрам ожидаемого (проектного или максимального расчетного) землетрясения, а *CRR* — экспериментально при лабораторных испытаниях. Для их расчета используются следующие выражения:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0{,}65\frac{a_{\max}}{g}\cdot\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\cdot r_d; \quad (2)$$

$$CRR = \frac{\tau_{cr}}{\sigma'_v}, \quad (3)$$

где τ_{av} — среднее значение ожидаемых циклических напряжений сдвига при данной магнитуде, кПа; τ_{cr} — амплитуда напряжений, вызывающая разжижение грунта, кПа; σ'_v, σ_v — соответственно эффективное и полное значения природных вертикальных напряжений на глубине залегания грунта, кПа; a_{max} — пиковое сейсмическое ускорение колебаний на поверхности массива, см/с^2; r_d — коэффициент снижения напряжений с глубиной, д.ед.; g — ускорение свободного падения, см/с^2 [22].

Инженерная оценка разжижаемости грунтов при ожидаемых землетрясениях сводится к получению надежных ответов на следующие вопросы.

1. Возможно ли разжижение грунтов при данных параметрах сейсмического воздействия?

2. Если оно возможно, то какова ожидаемая величина вертикальной осадки поверхности массива в результате уплотнения грунтов после их разжижения?

3. Возможно ли образование грифонов (sand boils) на поверхности массива в результате разжижения грунтов?

4. Какова возможная амплитуда латеральных деформаций грунтов, выражающихся в их растекании на склонах и оползнеобразовании?

Ключевым является первый вопрос, поскольку только при положительном ответе на него требуют обязательных ответов и все остальные.

Для решения вопроса о возможности сейсмического разжижения грунтов при заданных характеристиках ожидаемых землетрясений сегодня могут использоваться:

1) полевые методы оценки динамических свойств грунтов;

2) лабораторные методы динамических испытаний грунтов;

3) лабораторные методы динамических испытаний физических моделей геологических тел, земляных сооружений, грунтовых оснований (испытания на вибростолах, центробежное моделирование на геотехнических центрифугах).

В данной статье мы сосредоточимся на возможности получения адекватного решения с помощью методов только первых двух групп, поскольку методы третьей группы из-за их технической сложности и обычно высокой стоимости не предназначены для широкого использования в составе инженерно-геологических изысканий.

Не пытаясь вернуться к «вечной» дискуссии о преимуществах и недостатках полевых и лабораторных методов исследований, следует особо подчеркнуть: тогда как лабораторные динамические испытания образцов дают однозначный ответ на вопрос о возможности разжижения грунта (разумеется, при условии адекватного моделирования исходных условий), полевые методы обеспечивают именно оценку возможности их разжижения с определенной долей вероятности. Причина этого заключается в том, что использующиеся сегодня полевые методы базируются на эмпирических корреляционных зависимостях между непосредственно измеряемыми характеристиками грунтов в массиве и их сопротивлением разжижению без моделирования ожидаемых сейсмических воздействий в этом массиве, то есть без проведения собственно эксперимента по динамическому нагружению грунта.

Среди полевых методов определения динамических свойств грунтов (табл. 1) лишь четыре — сейсмическое зондирование, динамическое зондирование, стандартная пенетрация и статическое зондирование с пьезоконусным зондом — используются для оценки возможности сейсмического разжижения грунтов, притом исключительно песчаных.

Наиболее детально разработана методика оценки разжижаемости песков по результатам испытаний на

стандартную пенетрацию (SPT), которые представляют собой динамическое зондирование со стандартным тонкостенным грунтоносом Реймонда вместо привычного для отечественной практики конического зонда. Этот метод получил наиболее широкое распространение в североамериканской практике инженерных изысканий в соответствии со стандартом [11]. При оценке сейсмической разжижаемости Г.Б. Сид с соавторами [24] исходили из сопоставления измеренного в массиве сопротивления песчаных грунтов стандартной пенетрации с реально наблюдавшимися фактами их разжижения или, напротив, отсутствия этого эффекта при сильных землетрясениях (с магнитудой 7,5) в историческом прошлом. Сопоставление этих данных при известных величинах сейсмической нагрузки (*CSR*) позволило получить эмпирическую номограмму, приведенную в ее современном виде на рис. 1. По существу, этот подход позволяет оценить критическое значение приведенной амплитуды динамических касательных напряжений (*CRR*) на основе определенным образом обработанных (нормированных по стандартной энергии удара) данных испытаний на стандартную пенетрацию, а затем рассчитать потенциал разжижения, базируясь на характеристиках ожидаемого сейсмического события.

Присутствие в грунте даже небольшого количества гравийно-галечного материала исключает применение стандартной пенетрации для оценки его разжижаемости. Для таких толщ разработан специальный пенетрационный комплекс испытаний на базе самоходной

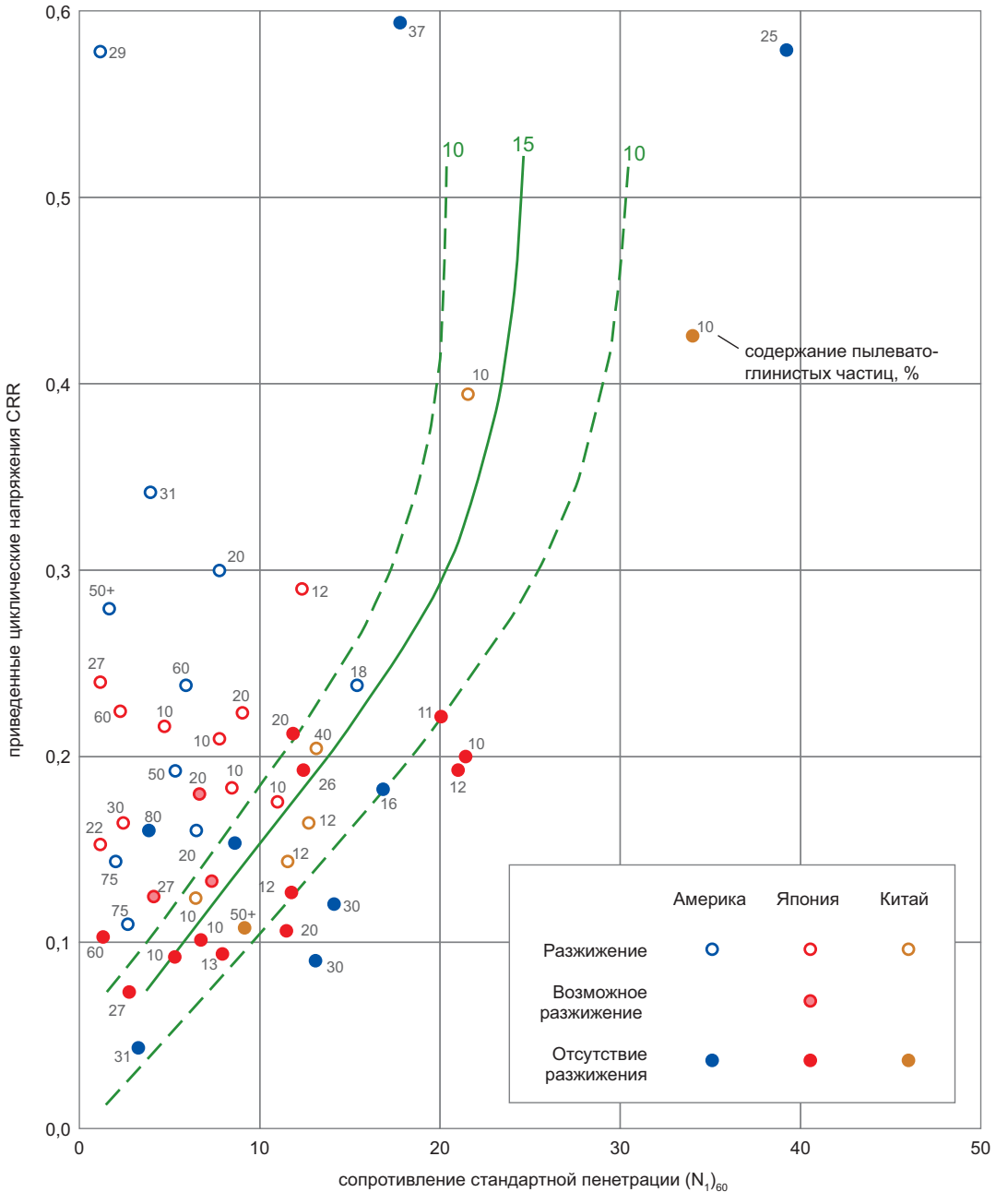


Рис. 1. Зависимость между приведенными циклическими напряжениями, вызывающими разжижение, и сопротивлением стандартной пенетрации для чистых и пылеватых песков при землетрясениях с магнитудой 7,5 [24]. Цифрами над верхними концами кривых указаны соответствующие им величины содержания пылевато-глинистых частиц *FC*, %

Таблица 2

Оценка разжижаемости песков по результатам динамического зондирования [14]

*P**, МПа		Вероятность разжижения песков при динамических нагрузках
среднее	миним.	
< 1,5	< 0,5	Большая вероятность разжижения (пески рыхлого сложения, сцепление практические отсутствует)
1,5–2,7	0,5–1,1	Разжижение возможно (пески рыхлые или средней плотности со слабо развитым сцеплением)
2,7–3,8	1,1–1,6	Вероятность разжижения невелика (пески средней плотности с развитым сцеплением)
> 3,8	> 1,6	Разжижение песков практически невозможно (пески плотные и средней плотности с хорошо развитым сцеплением)

* *P* — условное динамическое сопротивление грунта погружению зонда.

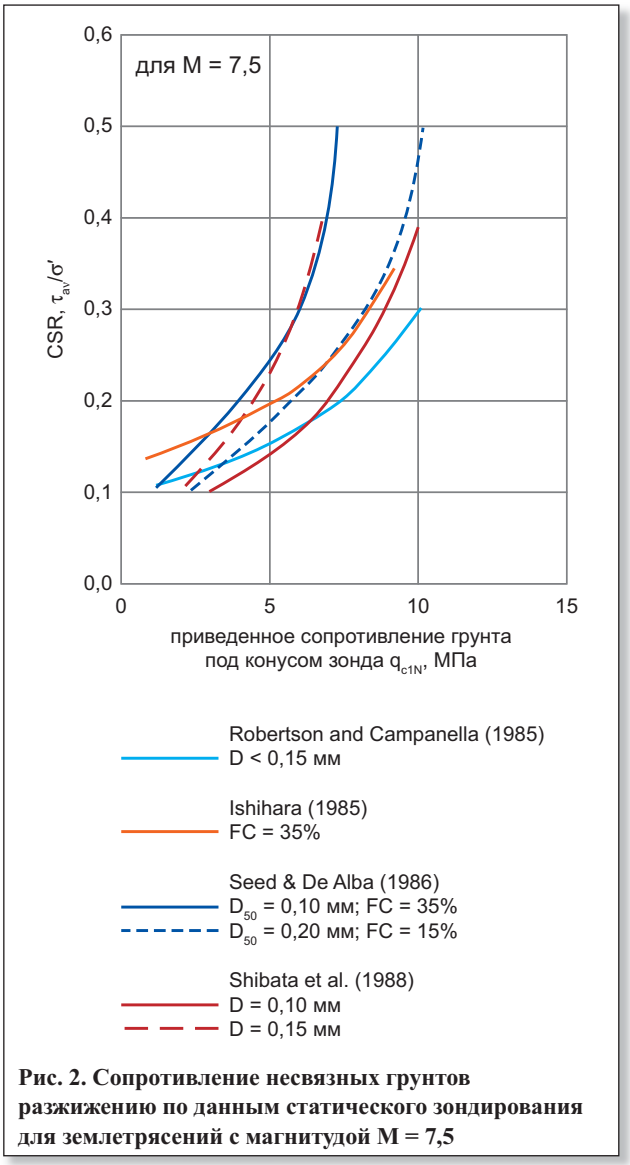


Рис. 2. Сопротивление несвязных грунтов разжижению по данным статического зондирования для землетрясений с магнитудой M = 7,5

сваезабивной установки Беккера [14], получивший название «Беккер-пенетрация». Эти испытания заключаются в погружении в грунт трубы с двойной стенкой с наружным диаметром 16,8 см ударами дизель-молота. Внутренняя стенка трубы вблизи ее нижнего конца перфорирована, и мощный компрессор нагнетает воздух в зазор между стенками. Воздушная струя, вырываясь вверх по стволу инструмента, выносит и частицы грунта (даже гравийного размера) в специальную камеру. При этом измеряется число ударов, погружающих колонну труб в толщу грунта на 30,5 см.

Для оценки разжижаемости грунта по результатам Беккер-пенетрации (BPT) используются те же диаграммы Г.Б. Сида [24], что и при стандартной пенетрации, после перевода значений N_{BPT} в эквивалентные величины N_{SPT} по корреляционной зависимости из работы [14] (где N_{BPT}, N_{SPT} — количество ударов молота стандартной массы при его падении со стандартной высоты, необходимое для погружения зонда на глубину 30 см при использовании методов BPT и SPT соответственно; на рис. 1 параметр N_{SPT} обозначен $(N_1)_{60}$, как в работе [24]).

Вопрос о надежности корреляционной связи между данными стандартной и Беккер-пенетрации, на которой основаны все дальнейшие расчеты, остается открытым, что вносит неопределенность в оценку потенциала разжижения грунтов по результатам BPT. Корреляция проводится по результатам обоих методов испытаний в одинаковых условиях (там, где состав и строение толщи допускают применение SPT). Но неизвестно, справедливы ли ее результаты для грунтов со значительной примесью гравийно-галечного материала и просто грубообломочных отложений, поскольку в таких условиях нельзя провести стандартную пенетрацию.

В отечественной практике разжижаемость песчаных грунтов допускается оценивать по результатам **динамического зондирования** в соответствии с приложением «И» части I СП 11-105-97 [8] (табл. 2). Очевидным недостатком этого документа является отсутствие учета величины сейсмического воздействия. Таким образом, и без того чисто качественная оценка возможности разжижения дается «вообще» (без привязки к сейсмическому событию определенной величины), что принципиально неправильно, поскольку противоречит самой сущности инженерной оценки явлений. Кроме того, динамическое зондирование все меньше применяется в составе инженерных изысканий в России, на что есть свои причины, рассмотрение которых выходит за рамки данной работы.

В начале 80-х гг. XX в. в связи с расширением возможностей **статического зондирования (CPT)** за счет, во-первых, появления пьезоконусных инструментов с измерением порового давления в процессе пенетрации и, во-вторых, разработки ряда эмпирических зависимостей для определения показателей физических и физико-механических свойств грунтов по данным этого метода исследований возникло представление о возможности применения CPT также и для полевой оценки потенциала сейсмического разжижения грунтов. Несмотря на то что при статическом зондировании никакого собственно динамического воздействия на грунт не оказывается, этот подход оправдывался двумя обстоятельствами: (1) чрезвычайно широким использованием данного метода во всем мире; (2) очевидной

аналогией определения механических свойств грунтов при забивке и при вдавливании конусного или трубчатого зонда. То есть, поскольку в своей основе сопротивление грунта разрушению как при проникновении зонда, так и при сейсмическом воздействии определяется прочностью его структурных связей, существует физическая основа для оценки сопротивления грунта разжижению по его противодействию внедрению зонда при обязательном учете изменения порового давления. В основу этой оценки положена аналогия с описанной выше методикой определения потенциала сейсмического разжижения песков по данным стандартной пенетрации [24] на базе фактически наблюдавшихся случаев разжижения песков или его отсутствия при сильных инструментально зафиксированных землетрясениях в историческом прошлом.

В результате вскоре после появления работ Г.Б. Сида с соавторами [14, 24] П. Робертсоном и Р. Кампанеллой [18] были предложены аналогичные корреляционные номограммы для определения сопротивления чистых и пылеватых песков разжижению по величине приведенного сопротивления грунта под конусом зонда при статическом зондировании (q_{c1N}). Близкие к ним диаграммы (рис. 2) разработали и другие авторы [15, 21, 25].

Впоследствии появилось много дополнительных данных по использованию статического зондирования для оценки разжижаемости грунтов, которые расширили исходную базу данных и показали, что предложенные разными авторами номограммы хорошо согласуются с реальным поведением чистых песков в массивах. В соответствии с рекомендациями рабочего совещания экспертов в Национальном центре исследований по сейсмостойкому проектированию США (NCEER) диаграмма П. Робертсона и Р. Кампанеллы [18] для чистых песков была немного модифицирована (рис. 3). Данные полевых испытаний и наблюдений, положенные в ее основу, были получены для чистых голоценовых песков, субгоризонтальной поверхности массива, магнитуды землетрясения 7,5, глубины залегания грунтов от 1 до 15 м (в 84% случаев — менее 10 м) и нормативных значений q_{c1N} для слоев, испытавших циклическое разжижение.

Впоследствии были также разработаны аналогичные корреляционные зависимости [26] для различных по гранулометрическому составу песчаных грунтов,

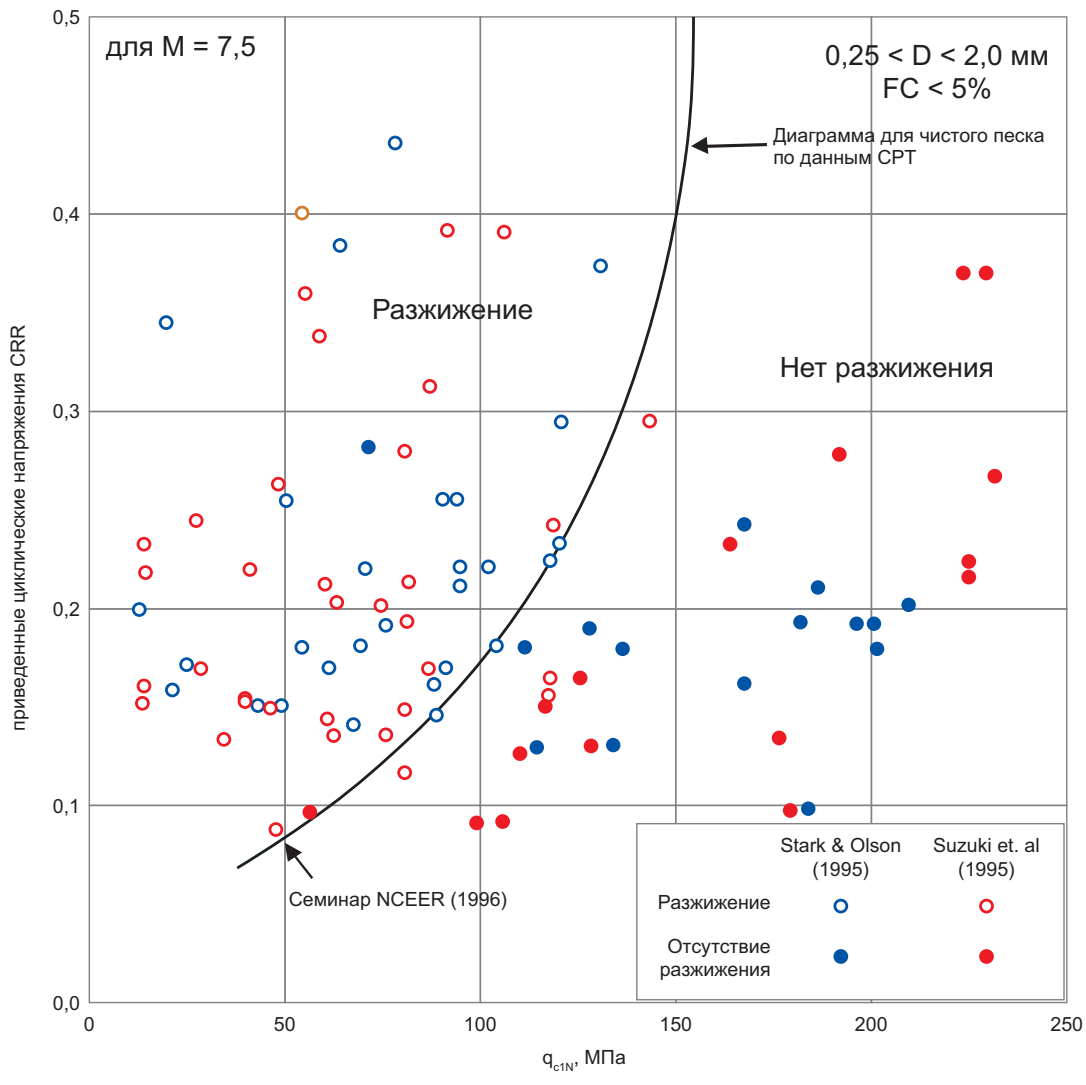


Рис. 3. Номограмма для расчета циклического сопротивления грунта разжижению по данным статического зондирования на основе полевых данных для землетрясений с магнитудой M = 7,5, среднего диаметра частиц $0,25 < D_{50} < 2,0$ мм и содержания пылевато-глинистых частиц $FC < 5\%$ [20]

основанные на содержании частиц мельче 0,074 мм и среднем диаметре частиц D_{50}. На основе собранной обширной базы данных были предложены поправки на содержание пылевато-глинистых частиц (FC, %) для получения приведенного сопротивления грунта под конусом зонда (q_{c1N}), эквивалентного таковому для чистого песка, а также магнитудные масштабные факторы, расширяющие возможности оценки потенциала разжижения песков при землетрясениях разной магнитуды. Таким образом, общий массив данных, использованный для оценки разжижаемости по данным статического зондирования, сегодня превышает таковой для данных SPT, который использовался Г.Б. Сидом [17].

В современной практике после расчета q_{c1N} (эта величина используется для определения и других показателей свойств грунтов по результатам CPT) процедура оценки разжижаемости грунта сводится к следующим операциям:

1) при необходимости величина q_{c1N} корректируется с учетом: (а) наличия тонких прослоев существенно разной жесткости; (б) наклона поверхности массива; (в) значительных природных напряжений (обычно при глубине более 25 м); (г) возраста отложений; (д) магнитуды ожидаемого толчка;

2) полученное итоговое значение q_{c1N} используется для расчета приведенного циклического сопротивления разжижению (CRR);

3) сопоставление последней величины с ожидаемой сейсмической нагрузкой позволяет рассчитать фактор устойчивости грунта к разжижению — потенциал разжижения грунта (F_L).

Подробно методика определения потенциала сейсмического разжижения песков изложена в работах [2, 31]. Полевые исследования, выполненные авторами работы [13] на 19 площадках, показали, что надежность определения потенциала разжижения по данным статического зондирования пьезоконусом составляет не менее 85%. Исходя из этого за **критическое значение потенциала разжижения** следует принимать величину 1,15, а все дисперсные грунты целесообразно разделить на три категории: I — разжижаемые (при $F_L \leq$ 1,15); II — неразжижаемые (при $F_L >$ 1,15); III — возможно чувствительные к сейсмическим нагрузкам и требующие лабораторного изучения на образцах ненарушенного сложения. К последней категории относятся грунты, для которых в соответствии с современными представлениями F_L по данным статического зондирования не определяется (водонасыщенные пылеватые и глинистые грунты). Это деление создает основу для классифицирования дисперсных грунтов по сейсмической разжижаемости по результатам статического зондирования.

Следующим шагом на пути развития полевых методов оценки сейсмической разжижаемости грунтов стала разработка методики их локализации на основе скоростей поперечных волн (V_S) по данным **сейсмического зондирования**. Этот подход привлекателен еще и тем, что определение V_S можно совмещать со статическим зондированием при использовании сейсмоконусного или сейсмопьезоконусного инструмента. Критерии разжижаемости грунтов по данным полевых измерений V_S были предложены в работах [9, 10].

Использование скорости поперечных волн в качестве полевого индекса разжижаемости основано на том, что значения как V_S, так и CRR в значительной мере определяются величинами эффективных сжимающих напряжений, пористостью грунтов, историей их нагружения и геологическим возрастом отложений.

Использование V_S как критерия разжижаемости грунтов имеет определенные преимущества:

1) измерения V_S можно проводить в грунтах, которые сложно испытывать зондированием или образцы которых трудно отбирать (например, в гравийно-галечных отложениях), а также в местах, где нельзя проводить разведочные работы;

2) V_S — это важнейший показатель физико-механических свойств грунта, прямо связанный с его модулем сдвига при малых деформациях, который требуется для аналитической оценки реакции грунта на динамические воздействия и его взаимодействия с сооружением в условиях таких воздействий [31].

Основные недостатки использования V_S в качестве критерия разжижаемости грунтов таковы:

1) V_S измеряется при малых деформациях, тогда как возникновение избыточного порового давления и разжижение — это явления, связанные с гораздо более высоким уровнем деформаций;

2) сейсмическое зондирование не предусматривает опробования изучаемых грунтов, которое необходимо для контроля получаемых данных;

3) тонкие прослои грунтов, имеющих низкие скорости упругих волн и склонные к разжижению, могут оказаться невыявленными (однако обычно сейсмическое зондирование сопровождает статическое и его результаты контролируются с помощью результатов разведочного бурения и отчасти лабораторных испытаний, что позволяет повысить надежность получаемых данных).

Так же как и при обработке результатов статического зондирования, измеренные скорости поперечных волн нормируются относительно природного давления в соответствии со следующим выражением [16, 19, 28]:

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{p_a}{\sigma_v'} \right)^{0,25}, \qquad (4)$$

где V_{S1} — скорость поперечных волн с учетом влияния природного давления, м/с; V_S — измеренная скорость поперечных волн, м/с; p_a — атмосферное давление, кПа.

Уравнение (4) предполагает постоянство коэффициента бокового давления покоя K_0, который составляет приблизительно 0,5 для участков с разжижающимися грунтами. Оно также предполагает, что скорость измерена в обоих направлениях колебаний частиц, что направление поляризации волн совпадает с направлениями главных напряжений и что одно из них — вертикальное [27].

Разные исследователи пытались установить связь между разжижаемостью несвязных грунтов (в терминах CRR) и скоростью поперечных волн с учетом влияния природного давления для этих отложений. Полученные ими зависимости были проанализированы и обобщены [9] с привлечением расширенного полевого материала по 26 землетрясениям и более чем по 70 площадкам измерений. В результате была предложена следующая зависимость между CRR и V_{S1}:

Таблица 3

Основные лабораторные методы динамических испытаний грунтов для оценки их разжижаемости

Метод	Разновидности установок
Динамическое трехосное сжатие	электрогидравлические; электропневматические; электромеханические; электропневмогидравлические
Динамические испытания по схеме простого сдвига	с цилиндрическими образцами (NGI — Norwegian Geotechnical Institute type) с кубическими образцами (Cambridge University type)
Динамический крутильный сдвиг	с полыми образцами; со сплошными образцами
Динамический кольцевой сдвиг	с кольцевыми образцами; с дисковыми образцами

$$CRR = a\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^2 + b\left(\frac{1}{V^*_{S1} - V_{S1}} - \frac{1}{V^*_{S1}}\right), \qquad (5)$$

где V^*_{S1} — критическое для проявления разжижения значение скорректированной скорости поперечных волн V_{S1}, м/с; a, b — параметры кривой данной зависимости.

Первый член правой части уравнения (5) основан на модифицированной зависимости между CSR и V_{S1} для постоянной средней деформации сдвига (как предложено Р. Добри [31]), а второй описывает гиперболу при малых значениях для низких V_{S1} и при очень больших — при приближении V_{S1} к постоянной предельной величине V^*_{S1}.

Кривые «CRR–V_{S1}», рекомендованные в работе [10] для практической оценки разжижаемости несцементированных голоценовых грунтов с различным содержанием пылевато-глинистых частиц применительно к землетрясениям с магнитудой 7,5, приведены на рис. 4. Для расчета CRR по значениям V_{S1} рекомендуется принимать $a = 0{,}022$ и $b = 2{,}8$. Полагается, что величина V^*_{S1} изменяется линейно от 200 м/с для грунтов с $FC = 35\%$ до 215 м/с для грунтов, содержащих не более 5% пылевато-глинистых частиц [31]. Рекомендуемые кривые проведены пунктиром при $CRR > 0{,}35$, что указывает на ограниченное количество фактических данных за пределами этого диапазона. Нижним пределом является точка ($V_{S1} = 100$ м/с, $CRR = 0{,}033$), поскольку отсутствуют данные для продолжения кривых в начало координат. Указанное минимальное значение CRR согласуется с таковым при $q_{c1N} \approx 0$ по данным СРТ. Пересчет значений CRR, полученных по величинам скоростей поперечных волн, для заданного землетрясения следует осуществлять с применением магнитудных масштабных факторов [2].

Другими словами, после расчета CRR по данным измерений скоростей поперечных волн для определения разжижаемости грунтов по этому показателю можно перейти к вычислению фактора устойчивости грунта к разжижению (F_L), а существование некоторых пороговых с точки зрения возможности разжижения песка значений скоростей поперечных волн открывает и возможность их использования в классифицировании грунтов по сейсмической разжижаемости.

Наиболее распространенные в современной практике **лабораторные методы** динамических испытаний грунтов для оценки их разжижаемости приведены в табл. 3. Основу этих методов составляет измерение реакции грунта в терминах величин возникающих в грунте деформаций и порового давления при условии корректного моделирования начального напряженного состояния и динамической нагрузки, эквивалентной в энергетическом отношении ожидаемой сейсмической.

Момент и сам факт достижения разжижения фиксируются по величине относительного порового давления $PPR = \Delta u / \sigma_3 = 1$ (где σ_3 — всестороннее сжимающее напряжение, кПа; Δu — изменение порового давления, кПа) или по прохождению траектории эффективных напряжений через начало координат ($p' = 0$; $q = 0$, где q — максимальное касательное напряжение, кПа; p' — среднее эффективное напряжение, кПа) (рис. 5), что означает исчезновение в грунте эффективных напряжений и нулевое сопротивление сдвигу с передачей всех полных напряжений на поровый раствор.

Весьма важным представляется определить саму необходимость проведения динамических лабораторных испытаний грунтов для установления возможности их разжижения при заданных уровнях ожидаемых сейсмических воздействий, поскольку положительный ответ на этот вопрос означает дополнительные финансовые и временные затраты, а также необходимость отбора проб для этих исследований. И решение этого

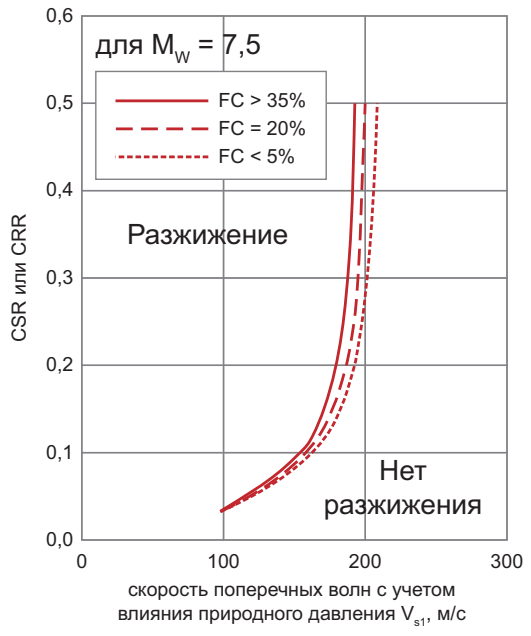


Рис. 4. Номограмма, рекомендуемая для оценки разжижаемости чистых несцементированных голоценовых песков на основе полевых данных для землетрясений с моментной магнитудой $M_W = 5{,}9$–$8{,}3$, скорректированных по $(M_W/7{,}5)^{-2{,}56}$, и средних значений V_{S1} и a_{max} [10]. Цифрами над верхними концами кривых указаны соответствующие им величины содержания пылевато-глинистых частиц FC, %

вопроса должно быть принято на основании данных полевых работ. Именно эту цель — отнесение грунтов к потенциально разжижаемым или неразжижаемым на основе данных стандартных методов инженерно-геологических изысканий — и преследует предлагаемая в данной работе классификация.

Когда же необходимы динамические испытания грунтов? При достаточной для разрушения структурных связей грунта энергии колебаний (т.е. при достаточно сильном сценарном землетрясении) разжижение может происходить в водонасыщенных дисперсных грунтах среднеплейстоцен-голоценового возраста, проявляющих тенденцию к уплотнению при сдвиге (отрицательную дилатансию), при невозможности быстрой диссипации порового давления (отжатия поровой влаги из грунта).

К наиболее легко разжижаемым грунтам обычно относятся:

1) все слабосвязные грунты вышеуказанного возрастного диапазона в водонасыщенном состоянии (пы-

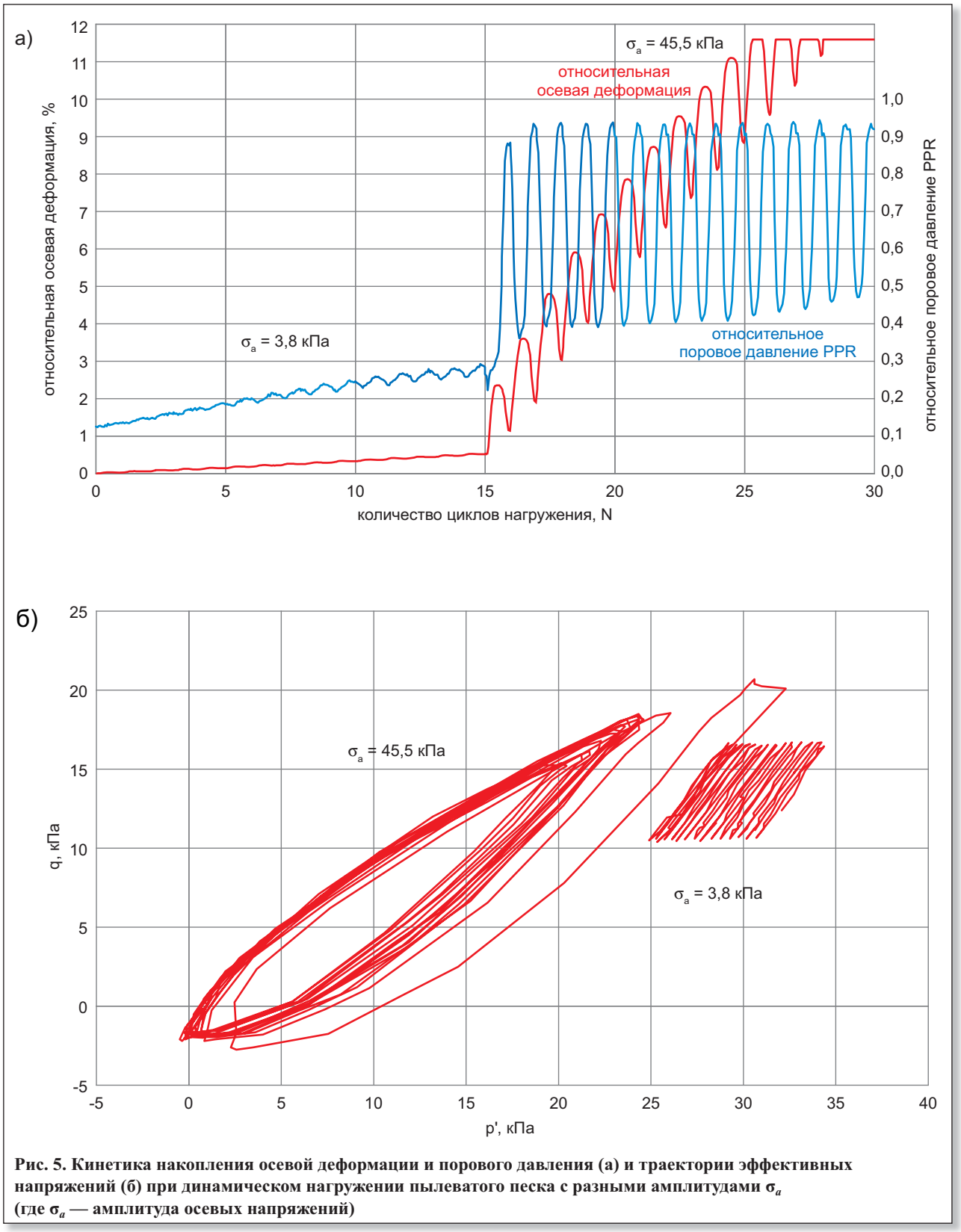


Рис. 5. Кинетика накопления осевой деформации и порового давления (а) и траектории эффективных напряжений (б) при динамическом нагружении пылеватого песка с разными амплитудами σ_a (где σ_a — амплитуда осевых напряжений)

Таблица 4

Основные факторы, определяющие возможность разжижения грунтов [2]				
Категории и группы факторов		**Параметры циклической нагрузки**	**Характеристики состава, состояния и свойств грунтов**	**Особенности строения массива грунтов**
Общие		энергия воздействия; длительность сотрясений (число циклов воздействия); спектральный состав сейсмических волн; асимметрия цикла нагрузки	степень влажности; величина эффективных напряжений; коэффициент бокового давления покоя грунта	глубина залегания потенциально разжижаемого грунта; мощность слоя потенциально разжижаемого грунта; положение очага разжижения относительно склона; наличие подстилающих жестких грунтов
Специфические	для несвязных грунтов	-	степень плотности; размер, форма, морфология поверхности зерен; водопроницаемость	наличие перекрывающих слабопроницаемых слоев
	для связных грунтов	-	величина сцепления; тип структуры и микростроение; степень переуплотнения; физико-химическая активность; возраст отложений	-

леватые пески, супеси и легкие суглинки, в т.ч. увлажненные лессовые грунты, золы уноса и т.п.);

2) пески мелкие и средней крупности со степенью плотности $I_D \leq 0{,}45$;

3) связные грунты, имеющие метастабильные структуры и низкую физико-химическую активность твердой компоненты (типа ледниково-морских «плывунных» глин).

Из этого краткого перечня видно, что лишь для части указанных разностей сегодня возможна оценка сейсмической разжижаемости в полевых условиях. Следовательно, для надежной идентификации потенциально разжижаемых разностей в разрезе конкретной территории в классификации необходимо опираться также и на опыт строительства и лабораторных исследований динамической неустойчивости грунтов. А этот опыт указывает прежде всего на то, что при оценке разжижаемости грунтов совершенно необходимо корректно учитывать целый ряд факторов, в значительной мере влияющих на возможность возникновения эффекта разжижения при землетрясениях и на его последствия для сооружений.

Факторы, определяющие возможность разжижения грунтов

Наиболее важные из факторов, определяющих возможность разжижения грунтов, систематизированы в табл. 4.

Для классифицирования грунтов по сейсмической разжижаемости прежде всего следует принимать во внимание характеристики их состава, состояния и свойств, поскольку параметры сейсмической нагрузки определяются магнитудой, продолжительностью и другими особенностями ожидаемых для той или иной площадки сценарных землетрясений с заданным периодом повторяемости. Кроме того, поскольку, во-первых, при сейсмических воздействиях разжижение наблюдается преимущественно в песчаных грунтах, а во-вторых, методы полевой оценки разжижаемости связных дисперсных грунтов пока не разработаны, то обсуждаемая ниже классификация будет касаться исключительно песчаных грунтов.

Не все указанные в табл. 4 факторы, характеризующие состав, состояние и свойства песчаных грунтов, целесообразно использовать для классификационных целей.

Так, *степень влажности* не может быть классификационным критерием, поскольку разжижение возможно только в полностью водонасыщенных грунтах, а следовательно, классифицировать по сейсмической разжижаемости имеет смысл только водонасыщенные пески.

Использующееся сегодня на практике подразделение песков по *степени плотности* совершенно бессмысленно и не основано ни на каких физических закономерностях, а само понятие степени плотности при современной методике определения пригодно только для сухих песков, ибо их уплотняемость во влажном или водонасыщенном состоянии совершенно иная. Физический смысл подразделение по плотности сложения имеет только относительно критической пористости, или «параметра состояния песков» (Ψ), принятого в зарубежной практике. Однако их экспериментальное определение достаточно сложно и трудоемко для классификационных целей.

Водопроницаемость песчаных грунтов — безусловно, важный фактор разжижаемости, поскольку определяет темпы диссипации порового давления при сейсмическом воздействии, однако хорошо известно, что этот показатель достаточно надежно контролируется эффективным диаметром частиц (D_{10}) и, следовательно, может быть соотнесен с гранулометрическим составом грунта.

Исследованиями Е.С. Кушнаревой [6] было показано, что с увеличением *коэффициента бокового давления покоя* K_0 в диапазоне от 0,4 до 1,2 динамическая

устойчивость водонасыщенных песков разной плотности возрастает, причем вид этой зависимости несколько различен (по разбросу, степени влияния) для песков разной крупности. Вместе с тем авторы настоящей статьи сочли возможным не использовать этот показатель при классифицировании песков по сейсмической разжижаемости, поскольку в большинстве случаев разжижающиеся пески характеризуются коэффициентом бокового давления покоя в более узком диапазоне (0,5–0,7), сам этот показатель определяется достаточно сложно, а его значимость по сравнению с величиной эффективных напряжений и дисперсностью песка при этом ниже.

Таким образом, среди факторов, характеризующих состав, состояние и свойства песчаных грунтов, для классификационных целей первоочередное значение имеют их ***гранулометрический состав (дисперсность)*** и ***величины эффективных напряжений***, что убедительно показано во многих отечественных [3, 4, 7] и зарубежных [5, 12, 23, 29 и др.] исследованиях.

Установлено, что вероятность сейсмического разжижения песков закономерно снижается с ростом *природных эффективных напряжений*. Вместе с тем в литературе отсутствуют точные указания на определенное пороговое значение напряжения, выше которого разжижение становится невозможным, поскольку эта величина зависит от типа песка и других факторов. Однако совершенно очевидно, что величина действующих эффективных напряжений определяющим образом связана с глубиной залегания потенциально разжижаемого слоя грунта. В связи с этим для целей классифицирования грунтов предлагается опираться на эту очевидную взаимосвязь и на имеющийся опыт полевых и лабораторных исследований сейсмической разжижаемости грунтов, залегающих на разной глубине.

Обширный опыт работ авторов в этой области на Сахалине, Черноморском побережье Кавказа и в Арктике показывает, что в большинстве случаев разжижаемые пески залегают на глубине не более 8–12 м, а пылеватые пески разжижаются при их залегании на глубине не более 20 м. Иллюстрацией этого могут служить диаграммы, приведенные на рис. 6, которые показывают изменения значений сейсмического ускорения на поверхности массива ($PGA_{крит.}$), критических для возникновения эффекта разжижения грунтов на разной глубине и при разной магнитуде ожидаемых землетрясений. Они построены по результатам анализа сейсмической устойчивости грунтов в разрезах четвертичных отложений в северной части острова Сахалин. По таким диаграммам можно оценить возможность разжижения грунтов на заданной глубине (z, м) при заданной магнитуде (M) (на рис. 6 приведены диаграммы для трех уровней магнитуд) и горизонтальном сейсмическом ускорении на поверхности массива (PGA). Разжижение на заданной глубине возможно при $PGA \geq PGA_{крит.}$ (где $PGA_{крит.}$ — критическое, т.е. минимально необходимое, значение PGA для возникновения разжижения на той или иной глубине). С ростом магнитуды ожидаемого толчка диаграммы смещаются влево — в сторону меньших PGA. Это принципиально правильно, потому что эти диаграммы учитывают еще и увеличение длительности сотрясений (большее количество эквивалентных циклов воздействия) с ростом энергии землетрясения. Поэтому при его большей магнитуде для проявления разжижения грунта при прочих равных условиях достаточно меньших PGA.

Из анализа приведенных диаграмм следует, что при магнитудах порядка 7,5 для разжижения песков в приповерхностных частях массива требуется возникновение колебаний с ускорениями не менее 0,22g (где g — ускорение свободного падения), а при толчках с магнитудой 6,5 — с ускорениями более 0,31g. Наиболее склонна к разжижению толща в интервале глубин 3,5–10,0 м, а с дальнейшим увеличением глубины до 15 м и более критические ускорения резко нарастают до значений, возможных лишь при исключительно сильных и редких сейсмических событиях.

Таким образом, за **пороговую глубину** возникновения сейсмического разжижения в песчаных грунтах, которая определяется, прежде всего, действующими сжимающими напряжениями, мы можем принять 20 м. При этом наибольшая вероятность разжижения песков характерна для глубины их залегания не более 10 м.

Е.С. Кушнаревой [6] было убедительно показано, что, при прочих равных условиях, важнейшее значение для динамической устойчивости водонасыщенных песков имеет размер зерен преобладающей фракции и особенно содержание пылевато-глинистых частиц. Подчиненную роль играют окатанность зерен и наличие на них поверхностных пленок, а влияние неоднородности гранулометрического состава песков и их сортировки не является закономерным. Опыт исследования сейсмической разжижаемости песков и их динамической устойчивости вообще позволяет утверждать, что абсолютное большинство разжижаемых песков характеризуется высоким содержанием пылевато-глинистых частиц (5–33%). При этом относительно более высокая чувствительность к динамическим нагрузкам характерна для пылеватых песков по сравнению с более грубодисперсными разностями.

С позиций энергетики процесса динамического нагружения грунта естественной мерой его сейсмической устойчивости является суммарная величина энергии, рассеянная единицей объема грунта во всех циклах воздействия к моменту разжижения или достижения некоторой величины относительной деформации. Чем выше эта величина рассеянной энергии, тем более динамически устойчив грунт. Подробнее энергетический подход в динамике грунтов рассмотрен в работах [1, 30].

Как показывают исследования авторов (рис. 7, 8), энергоемкость деформирования песчаных грунтов во многом определяется соотношением песчаных и пылевато-глинистых фракций. При увеличении содержания в песчаном грунте частиц мельче 0,05 мм до 4–5% величина удельной рассеянной энергии резко снижается (иногда в несколько раз) (см. рис. 7). При дальнейшем росте содержания пылевато-глинистых частиц до 10–14% энергоемкость их динамического деформирования продолжает закономерно снижаться до некоторого значения, которое при продолжении увеличения количества этих частиц в грунте уже практически не изменяется (см. рис. 7, 8). Для пылеватых песков характерны и наибольшие, при прочих равных условиях, вертикальные осадки поверхности массива после разжижения.

Вертикальной сиреневой линией на рис. 8 выделен интервал увеличения содержания пылевато-глинистой фракции от 1 до 12–14%, в котором происходит сни-

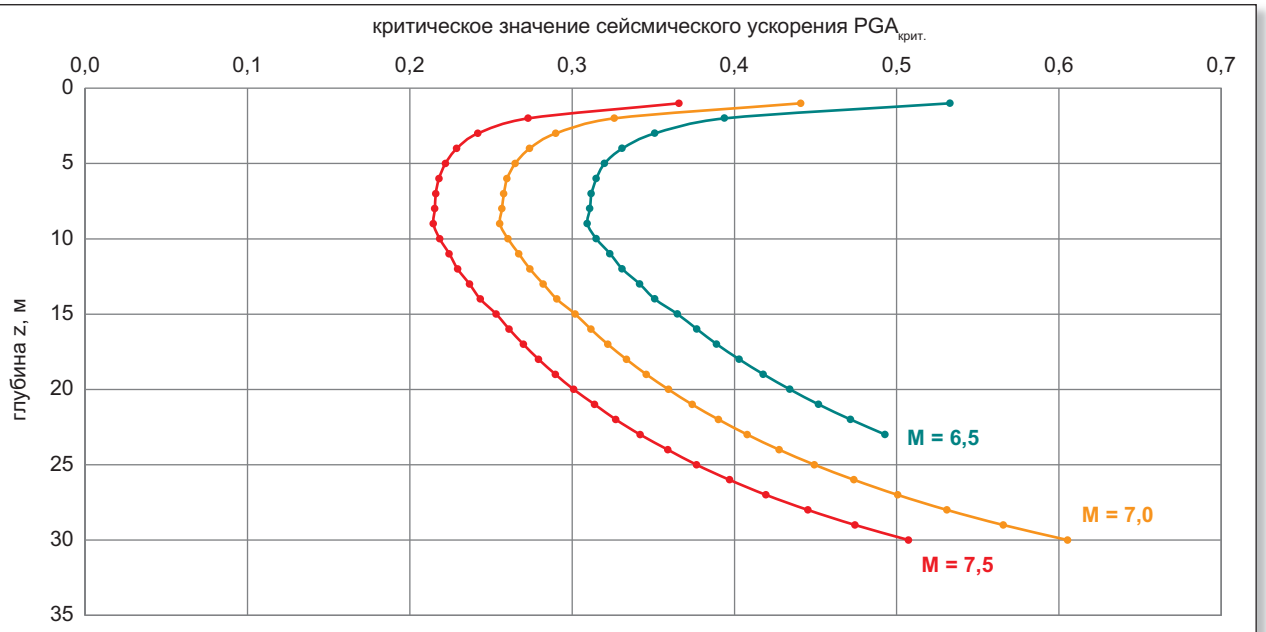


Рис. 6. Изменение критических значений сейсмического ускорения на поверхности ($PGA_{крит.}$) для разжижения грунтов на разной глубине (z) (Северный Сахалин)

жение сейсмической устойчивости песков**.** Таким образом, сейсмическая устойчивость песков снижается с увеличением содержания пылевато-глинистых частиц в интервале от 1 до 12–14%, а пески, содержащие большее их количество, характеризуются наименьшей динамической устойчивостью. При этом можно выделить два пороговых значения содержания частиц мельче 0,05 мм — 5 и 10%, что можно и нужно использовать для классифицирования песков по сейсмической разжижаемости.

Классификация песков по сейсмической разжижаемости

В конечном итоге предлагаемый авторами принципиальный подход к классифицированию водонасыщенных песков по их сейсмической разжижаемости может быть суммирован в виде следующих основных положений.

1. Оценка разжижаемости на основе полевых данных возможна сегодня только для песков.

2. При классифицировании учитываются важнейшие факторы, влияющие на возможность разжижения песка:

- величина сжимающих напряжений — через глубину залегания рассматриваемого слоя;
- гранулометрический состав — через содержание пылевато-глинистых частиц (мельче 0,05 мм).

3. Основу классифицирования составляют данные общепринятых методов инженерно-геологической разведки:

- условное сопротивление динамическому зондированию;
- приведенное сопротивление статическому зондированию под наконечником зонда (с обязательным измерением порового давления при погружении);
- скорость поперечных волн.

Последние две группы данных позволяют непосредственно рассчитать и потенциал разжижения грунта.

4. Отнесение грунта к той или иной категории по разжижаемости определяет необходимость дальнейших исследований и их содержание.

Исходя из этих позиций авторами предлагается классификация водонасыщенных песков по сейсмической разжижаемости, представленная в табл. 5. Она предназначена прежде всего для того, чтобы по результатам полевых работ:

- обоснованно выделить те геологические тела (слои, линзы, горизонты), для которых необходима экспе-

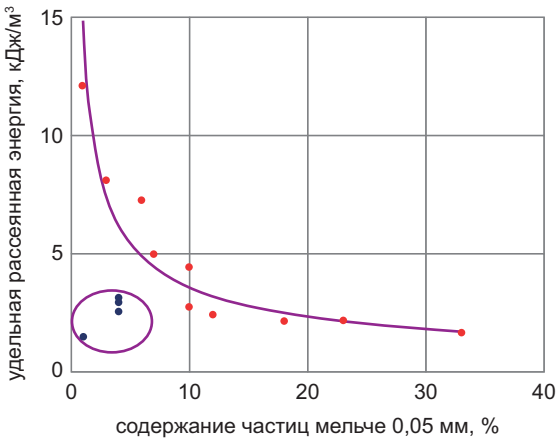


Рис. 7. Сравнительная характеристика устойчивости намывных песков (Ханты-Мансийский автономный округ) в водонасыщенном состоянии при циклическом воздействии: удельная рассеянная энергия на момент достижения 5%-ной осевой деформации в зависимости от содержания пылевато-глинистых частиц (мельче 0,05 мм). Разные формы и цвета маркеров обозначают места отбора исследованных намывных песков. Тонкой черной линией показан тренд изменения динамической устойчивости песков, выраженной через ΔW, в зависимости от содержания FC

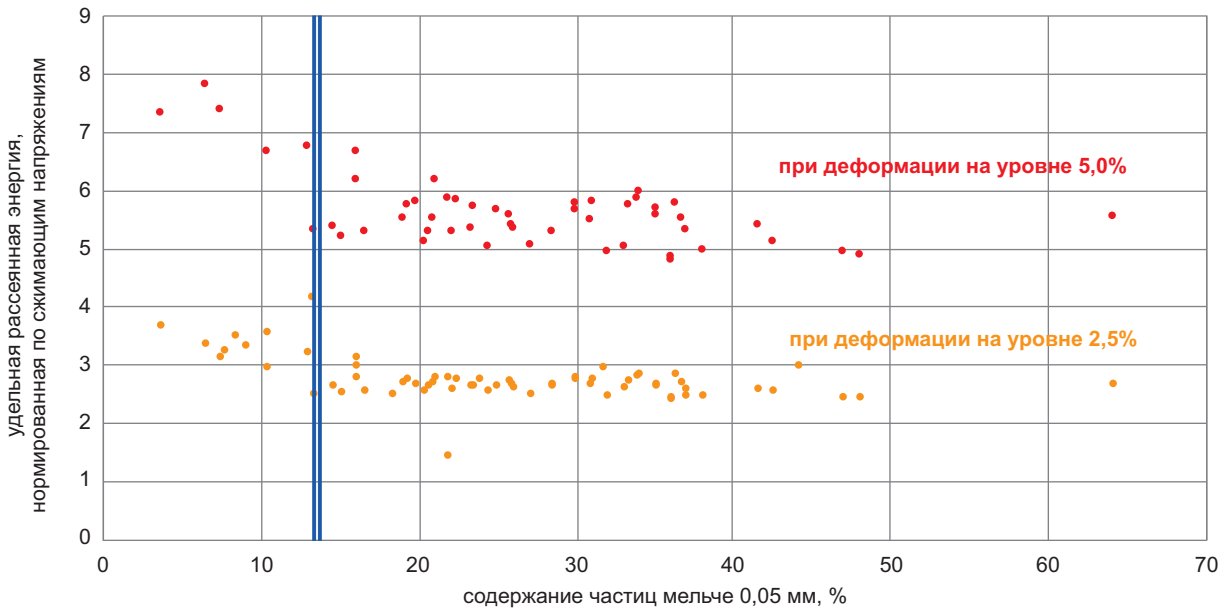


Рис. 8. Сравнительная характеристика устойчивости голоценовых песчаных грунтов (Имеретинская низменность, Краснодарский край) при динамическом воздействии. Удельная рассеянная энергия (ΔW) на момент достижения 2,5- и 5%-ной осевой деформации в зависимости от содержания пылевато-глинистых частиц.

рименталная оценка разжижаемости и возможных последствий разжижения;
- обеспечить отбор проб для этих исследований;
- обоснованно исключить из рассмотрения и дополнительного опробования неразжижаемые отложения;
- определить состав экспериментальных исследований.

Определение категории песков по разжижаемости позволяет принять следующие решения.
- При отнесении грунтов к категории *легко разжижаемых (плывунных)* следует полагать, что их разжижение неизбежно. В этом случае целесообразно провести инженерную оценку последствий разжи-

Таблица 5

Классификация водонасыщенных песчаных грунтов по разжижаемости при сейсмических воздействиях

Параметры*	Разновидности песков				
	Гравелистые	Крупные	Средней крупности	Мелкие	Пылеватые
Легко разжижаемые (плывунные)					
FC, %	-	-	> 10	> 10	Не регламентируется
z, м	-	-	< 12	< 12	< 12
P_d, МПа	-	-	< 2,0	< 2,0	< 2,0
V_S, м/с	-	-	< 215	< 200	< 200
F_L	-	-	≤ 1,15	≤ 1,15	≤ 1,15
Разжижаемые					
FC, %	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 5	Не регламентируется
z, м	< 20	< 20	< 20	< 20	< 20
P_d, МПа	2,0–5,0	2,0–5,0	2,0–5,0	2,0–5,0	2,0–5,0
V_S, м/с	≤ 215	≤ 215	≤ 215	≤ 215	≤ 215
F_L	≤ 1,15	≤ 1,15	≤ 1,15	≤ 1,15	≤ 1,15
Практически неразжижаемые					
FC, %	< 5	< 5	< 5	< 5	Не регламентируется
z, м	Не регламентируется				≥ 20
P_d, МПа	> 5,0	> 5,0	> 5,0	> 5,0	> 5,0
V_S, м/с	> 215	> 215	> 215	> 215	> 215
F_L	> 1,15	> 1,15	> 1,15	> 1,15	> 1,15

* FC — содержание частиц мельче 0,05 мм; z — глубина залегания; P_d — условное сопротивление динамическому зондированию; V_S — скорость поперечных волн; F_L — потенциал разжижения по данным статического или сейсмического зондирования.

жения с учетом особенностей строения массива и рельефа местности на основе ряда экспериментально определяемых показателей.

- Если грунты отнесены к категории *разжижаемых,* то возможность их разжижения при заданных параметрах землетрясений требует обязательной экспериментальной проверки.
- При отнесении песков к категории *практически неразжижаемых* достаточно результатов полевых работ, а лабораторные динамические испытания проводить нецелесообразно.
- Для *связных и слабосвязных* водонасыщенных грунтов в любом случае необходимо проведение лабораторных динамических испытаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вознесенский Е.А.* Динамическая неустойчивость грунтов. М.: Издательская группа URSS (Editorial URSS), 1999. 264 с.
2. *Вознесенский Е.А., Коваленко В.Г., Кушнарева Е.С., Фуникова В.В.* Разжижение грунтов при циклических нагрузках. М.: Изд-во МГУ, 2005. 134 с.
3. *Вознесенский Е.А., Кушнарева Е.С.* Оценка сейсмической устойчивости песчано-глинистых грунтов Нимфейской морской террасы (г. Анапа) // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 46–52.
4. *Вознесенский Е.А., Фуникова В.В., Кушнарева Е.С., Проворов Ф.А.* Основные факторы динамической устойчивости песчаных грунтов // Геоэкология. 2003. № 4. С. 335–345.
5. *Ишихара К.* Поведение грунтов при землетрясениях. СПб.: Изд-во НПО «Георекнструкция-Фундаментпроект». 2006. 383 с.
6. *Кушнарева Е.С.* Устойчивость водонасыщенных песков при динамическом воздействии: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: Изд-во МГУ, 2008. 27 с.
7. *Кушнарева Е.С., Вознесенский Е.А.* О применимости концепции критической пористости при оценке динамической устойчивости песков // Вестник Московского университета. Серия 4. Геология. 2009. № 2. С. 53–61.
8. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ. М.: Госстрой России, 2000.
9. *Andrus R.D., Stokoe K.H.II.* Liquefaction resistance based on shear wave velocity // Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils. Buffalo, USA: NCEER, State University of New York at Buffalo, 1997. P. 89–128.
10. *Andrus R.D., Stokoe K.H.II.* Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. ASCE, 2000. V. 126. № 11. P. 1015–1025.
11. ASTM D1586–11. Standard test method for penetration test and split-barrel sampling of soils. West Conshohocken, Pennsylvania, USA: ASTM, 2011.
12. *Castro G.* Liquefaction and cyclic mobility of saturated sands // Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, 1975. V. 101. № GT6. P. 55–569.
13. *Gilstrap S.D., Youd T.L.* CPT based liquefaction resistance analyses using case histories / Technical Report CEG-90-01. Provo, Utah: Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University, 1998.
14. *Harder L.F., Seed H.B.* Determination of penetration resistance for coarse-grained soils using the Becker Hammer Drill / Report № 86/06. Berkeley: University of California, 1986.
15. *Ishihara K.* Stability of natural deposits during earthquakes: Theme lecture / Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco, USA, 1985. V. 2. P. 321–376.
16. *Kayen R.E., Mitchell J.K., Seed R.B.* et al. Evaluation of SPT-, CPT-, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data /| Proceedings of the 4th Japan — U.S. Workshop on Earthquake-Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction. USA: NCEER, 1992. V. 1. P. 177–204.
17. *Lunne T., Robertson P.K., Powell J.J.M.* Cone penetration testing in geotechnical practice. London — New York: E & FN Spon. 1997. 312 p.
18. *Robertson P.K., Campanella R.G.* Liquefaction potential of sands using the cone penetration test // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1985. V. 111. № 3. P. 384–403.
19. *Robertson P.K., Woeller D.J., Finn W.D.L.* Seismic cone penetration test for evaluating liquefaction potential under cyclic loading // Canadian Geotechnical Journal. 1992. V. 29. P. 686–695.
20. *Robertson P.K., Wride C.E.* Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test // Canadian Geotechnical Journal. 1998. V. 35. № 3. P. 442–459.
21. *Seed H.B., De Alba P.* Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands // Proceedings of the ASCE Specialty Conference «Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering» (In Situ-86). Blacksburg, USA, 1986. P. 281–302.
22. *Seed H.B., Idriss I.M.* Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential // Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE, 1971. V. 97. № SM9. P. 1249–1273.
23. *Seed H.B., Lee K.L.* Liquefaction of saturated sands during cyclic loading // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 1966. V. 92. № SM6. P. 105–134.
24. *Seed H.B., Tokimatsu K., Harder L.F., Chung R.* Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1985. V. 121. № 12. P. 856–869.
25. *Shibata T., Teparaksa V.* Evaluation of liquefaction potentials of soils using cone penetration tests // Soils and Foundations. 1988. V. 28. № 2. P. 49–60.
26. *Stark T.D., Olson S.M.* Liquefaction resistance using CPT and field case histories // Journal of Geotechnical Engineering. ASCE, 1995. V. 121. № 12. P. 856–869.
27. *Stokoe K.H.II, Lee S.H.H., Knox D.P.* Shear moduli measurements under true triaxial stresses // Advances in the art of testing under cyclic conditions. New York: ASCE, 1985. P. 166–185.
28. *Sykora D.W.* Creation of a data base of seismic shear wave velocities for correlation analysis / Geotechnical Laboratory Miscellaneous Paper GL-8/26. Vicksburg, MI, USA: U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, 1987.
29. *Vaid Y.P., Chern J.C.* Mechanism of deformation during cyclic undrained loading of saturated sands // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1983. V. 2. № 2. P. 171–176.
30. *Voznesensky E.A., Nordal S.* Dynamic instability of clays: an energy approach // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. 1999. V. 18. № 2. P. 127–135.
31. *Youd T.L., Idriss I.M., Andrus R.D. et al. Liquefaction resistance of soils / Summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2001. V. 127. № 10. P. 817–833.*Prevention and Reduction. Harbin, July 22–24, 2009. Harbin, China: Harbin Institute of Technology, 2009. P. 98–103.

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ И ДОЧЕТВЕРТИЧНЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТОВ В МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

RESEARCH PECULIARITIES OF QUATERNARY AND PRE-QUATERNARY DISPERSED SOILS IN THE MOSCOW REGION

КАШИРСКИЙ В.И.
Директор по производству и НИР ООО «ГрандГЕО», к.т.н., г. Пушкино Московской области,
kvi@grandgeo.ru
ДМИТРИЕВ С.В.
Генеральный директор ООО «ГрандГЕО», г. Пушкино Московской области, grandgeo @grandgeo.ru
ЗНАМЕНСКИЙ Е.Н.
Главный геолог ООО «ГрандГЕО», г. Пушкино Московской области
БАЛЁКИН М.В.
Начальник технического отдела ГП «Мособлгеотрест», г. Москва
БИЗОВ А.Н.
Системотехник ООО «ГрандГЕО», г. Пушкино Московской области

KASHIRSKY V.I.
The director of the production and the research work of the «GrandGEO» Ltd., candidate of technical sciences, Pushkino, Moscow Region, kvi@grandgeo.ru
DMITRIEV S.V.
The general director of the «GrandGEO» Ltd., Pushkino, Moscow Region, grandgeo @grandgeo.ru
ZNAMENSKY E.N.
The chief geologist of the «GrandGEO» Ltd., Pushkino, Moscow Region
BALIOKIN M.V.
The head of the technical department of the «Mosoblgeotrest» state enterprise, Moscow
BIZOV A.N.
A systems engineer of the «GrandGEO» Ltd., Pushkino, Moscow Region

Ключевые слова:
нормативные документы; региональные нормативные документы; актуализация; дисперсные грунты; четвертичные грунты; дочетвертичные грунты; статическое зондирование; штамповые испытания; компрессионные испытания; физико-механические свойства; прочностные характеристики; деформационные характеристики; модуль деформации; корректировочный коэффициент.

Key words:
normative documents; regional normative documents; actualization; dispersed soils; quaternary soils; pre-quaternary soils; static probing; stamp tests; compressive tests; physical-mechanical properties; strength characteristics; deformation characteristics; modulus of deformation; correction coefficient.

Аннотация

В статье рассматриваются некоторые особенности исследований четвертичных и дочетвертичных дисперсных грунтов Московской области в связи с необходимостью переработки действующих в России нормативных документов и приведением их в соответствие с зарубежными стандартами. Приводятся примеры несоответствий и ошибок, содержащихся в этих документах, и предлагаются пути их исправления. Статья носит полемический характер и будет полезна изыскателям и инженерам-геологам при разработке новых российских стандартов.

Abstract

The article deals with some research peculiarities of the quaternary and pre-quaternary dispersed soils of the Moscow Region in connection with the necessity of revising the current normative documents in Russia and bringing them to conformity with the foreign standards. Some examples of discrepancies and mistakes in those documents are given, and the correction ways of them are proposed. The paper has polemic character and will be useful for engineering surveyors and engineering geologists for developing new Russian standards.

Вступление нашей страны в ВТО выдвигает первостепенную задачу по приведению всех ее нормативных документов (НК) в соответствие с действующими зарубежными стандартами, к примеру с Еврокодами, что, вне всякого сомнения, поставит российских изыскателей в трудное положение [11, 13, 15]. Это связано с тем, что, по наблюдениям авторов, даже те немногие из действующих российских НК, которые в настоящее время подверглись «актуализации», более напоминают ксерокопии старых документов, а не пересмотренные, обновленные и адаптированные к требованиям сегодняшнего дня версии. А работать мы должны будем, скорее всего, в соответствии с упомянутыми выше Еврокодами, для чего придется максимально приблизить требования наших НК к их требованиям.

По поводу адаптации нашей нормативной базы к международным стандартам имеется большое количество разнообразных мнений, порой диаметрально противоположных: от того, что ее провести «легко», до того, что это «невозможно». А истина, как всегда, лежит между этими двумя крайностями.

В этом направлении ведется определенная работа. Например, в готовящейся Национальным объединением изыскателей (НОИЗ) актуализации СНиП 11-02-96 приводится сопоставительная

таблица российских и зарубежных стандартов, используемых в инженерно-геологических и геотехнических изысканиях, в соответствии с которой по требованию заказчика допускается применение зарубежных методов, средств получения информации и стандартов, сопоставимых с отечественными аналогами согласно приложению Е.

Следует подчеркнуть, что наибольшие трудности нас ждут в приведении в соответствие с зарубежными нормативными документами нашей классификации грунтов, а также терминов и определений. И далеко не все проблемы можно решить одномоментно. Достаточно вспомнить, например, о том, что в зарубежных странах вообще отсутствует такое понятие, как супеси. Кроме того, наши российские инженерно-геологические изыскания необходимо будет максимально приблизить к европейским геотехническим исследованиям, так как, например, п. 2.2 «Геотехнические исследования Еврокода 7» рекомендует: «В результате геотехнических исследований должны быть представлены все данные, касающиеся геологического строения и гидрогеологических условий на площадке и прилегающей территории, необходимые для надлежащего описания существенных свойств грунтовых характеристик, используемых в проектных расчетах» [24].

В п. 2.4.3 Еврокода дается разъяснение: «Раздел “Выводы и рекомендации” геотехнического отчета должен содержать: (1) описание грунтовых условий, (2) подтверждение геотехнической категории сооружения, (3) выбор необходимых параметров для проектных расчетов, (4) пути решения проблем, которые могут возникнуть при строительстве, (5) предварительные рекомендации по решению возможных геотехнических проблем» (нумерация рекомендуемых Еврокодом частей раздела введена авторами для удобства их восприятия). Достаточно беглого взгляда, чтобы увидеть, что предлагаемые выводы и рекомендации геотехнического отчета по Еврокоду 7 в чем-то похожи на выводы и рекомендации инженерно-геологических отчетов, но только в чем-то, а именно в п. 1 и 2, то есть только в отношении описания грунтовых условий и подтверждения геотехнической категории — и все. Дальнейшее в нашей практике — дело проектировщиков.

А зарубежные специалисты, как мы видим, способны выполнять работы по всем пяти цитированным выше пунктам и, главное, не просто способны, а успешно выполняют это на практике. Поэтому между зарубежной геотехникой и надуманными российскими «геотехническими изысканиями» (по сути, опытными полевыми работами), как говорится, имеется дистанция огромного масштаба.

Особенно важно то, что требования Еврокода 7 по их применению подразделяются на два типа, а именно на «принципы» и «правила применения» [24] («принципы», которые в тексте отмечаются латинской литерой «P», представляют собой основные понятия и требования, которым нет альтернативы, — их требований следует придерживаться в обязательном порядке).

Таблица 1

Уравнения корреляционной зависимости между модулем деформации по результатам штамповых испытаний ($E_ш$, МПа) и лобовым сопротивлением внедрению зонда в грунт (q_c, МПа) для моренных суглинков

Грунты	Зависимость между $E_ш$ и q_c, МПа	Диапазон измерений q_c	R_f^*, %
Глины и суглинки твердые и полутвердые	$E = 7{,}0 + 6{,}4q_c$	0,5–4,8	4–7
Глины и суглинки тугопластичные и мягкопластичные	$E = 3{,}0 + 6{,}8q_c$	< 2	4–5

* R_f — показатель трения, %, $R_f = f_s / q_c \times 100\%$, где f_s — удельное сопротивление грунта на участке боковой поверхности (муфте трения) зонда.

Конечно же, и огульная критика нормативной базы нашей страны неуместна. Многие ученые и специалисты, в том числе и иностранные, отмечают, что многие наши нормативные документы нередко близки к зарубежным стандартам, а порой не только не уступают им, но и превосходят их по своей требовательности, четкости и конкретности.

Однако при обработке материалов испытаний дисперсных грунтов специалисты сталкиваются с тем, что действующие в России нормативные документы носят в ряде случаев общий характер и не всегда позволяют рассчитать с достаточной точностью деформационные и прочностные характеристики грунтов [8, 16].

Например, авторы неоднократно обращали внимание на то, что в таблице 6 МГСН.2.07-97 (прил. 7) [17], перешедшей без изменений в МГСН.2.07-01 [18], для расчета величин модуля деформации (E, МПа) покровных, озерно-болотных и озерно-ледниковых глинистых грунтов (а также глин, суглинков и супесей) предлагается единая формула: $E = 7{,}5q_c + 2{,}0$ (где q_c — лобовое сопротивление внедрению зонда в грунт, МПа). При этом очевидно, что эта формула дана без учета таких важнейших свойств глинистых грунтов, как пластичность, пористость, наличие органических включений и т.д. [8].

То же самое относится и к формуле для расчета модулей деформации моренных отложений: $E = q_c + 7{,}5$. В ней расчет модуля деформации выполняется для грунтов московского, окского и днепровского оледенений по единой формуле.

Несомненно, требуются дальнейшие исследования, корректировка и детализация указанных и других зависимостей.

Выполненная авторами аналитическая обработка результатов параллельных испытаний статическим зондированием и статическими нагрузками штампами моренных глин и суглинков позволила установить корреляционную зависимость вида: $E_ш = f(q_c)$ (где $E_ш$ — модуль деформации по результатам штамповых испытаний, МПа) (табл. 1) [6, 12].

Сравнение результатов, полученных с использованием первой зависимости (см. табл. 1), с ре-

зультатами, полученными с помощью уравнения, рекомендуемого в МГСН 2.07-01 для моренных глин и суглинков полутвердой и твердой консистенции ($E_ш = 7{,}5 + 8q_c$), показало их близкое сходство [12]. Различие коэффициентов в двух уравнениях, предложенных авторами (см. табл. 1), может быть объяснено тем, что второе из них было получено для тугопластичных и мягкопластичных моренных глин и суглинков, залегающих, как правило, в приповерхностных слоях, то есть в зоне аэрации и искусственного замачивания грунтов.

Много нерешенных вопросов связано с расчетами прочностных и деформационных характеристик супесей по результатам статического зондирования, которые традиционно выполняются по формулам, применимым для глинистых грунтов. Но нередко супеси очень близки по составу к пескам, поэтому значения модулей деформации (E) этих грунтов в подавляющем большинстве случаев получаются неоправданно завышенными. Также значительно завышенными получаются и значения удельного сцепления (c) супесей, рассчитанные по результатам статического зондирования. Они нередко получаются равными 30–50 кПа и более, в то время как по результатам лабораторных испытаний (в тех случаях, когда удается отобрать образцы ненарушенной структуры) они, как правило, составляют не более 6–12 кПа. Следует отметить, что значения удельного сцепления (c), рекомендуемые действующими нормативными документами, в зависимости от коэффициента пористости (e), для супесей с показателями текучести $0 < I_L < 0{,}25$ не превышают 13–21 кПа, а при $0{,}25 < I_L < 0{,}75$ они находятся в интервале 9–19 кПа [19].

Приведем еще один пример: в ГОСТ 20069-74 [3] и ГОСТ 20069-81 [4], действовавшем до 2001 г., было указание: «Стандарт не распространяется на грунты... всех видов в мерзлом состоянии». А в ГОСТ 19912-2001 [2] по статическому зондированию, действующем в настоящее время, написано: «...Стандарт распространяется на дисперсные природные, техногенные и мерзлые грунты, состав и состояние которых позволяют производить непрерывное внедрение зонда...». И в этом документе нет указаний на то, как и на основании каких НК надо интерпретировать результаты, полученные при зондировании указанных выше грунтов. То есть получается так, что ГОСТ 19912-2001 рекомендует мерзлые и искусственные грунты приравнять к талым грунтам и грунтам ненарушенной структуры (естественного сложения).

Рекомендации по обработке результатов испытаний пылеватых песков также требуют пересмотра, поскольку в соответствии с требованиями таблицы 1 приложения 4 СНиП 1.02.07-87 [23], а затем таблицы 1 приложения И СП 11-105-97 [22] плотность сложения по результатам измерений сопротивления грунта внедрению конуса (q_c) песков крупных, средней крупности и мелких определялась вне зависимости от влажности. Для песков пылеватых величина q_c находилась отдельно для маловлажных и влажных и отдельно для водонасыщенных. А в таблице 1 приложения 7 ныне действующих московских строительных норм МГСН 2.07-01 [18] рекомендуется определять «плотность сложения песков крупных, средней крупности и мелких независимо от влажности» и нет ни одного слова о пылеватых песках. Поэтому имеется один выход — выполнять расчеты плотности сложения пылеватых песков (как маловлажных и влажных, так и водонасыщенных) в соответствии с требованиями таблицы 1 приложения И СП 11-105-97 [22] до создания нового нормативного документа, который ликвидирует этот пробел, или до внесения соответствующего комментария к действующим московским нормам (МГСН).

Но, как отмечалось выше, подходы российских и зарубежных специалистов нередко различаются между собой. Например, при оценке физико-механических характеристик песков по данным статического зондирования используются два подхода. В первом, реализованном за рубежом, устанавливается связь между сопротивлением конуса, компрессионным модулем деформации и относительной плотностью песков по опытам в калибровочных камерах. Второй подход, реализованный отечественными исследователями, заключается в проведении параллельных испытаний в массиве, позволяющих установить корреляционную связь между сопротивлением внедрению конуса и штамповым модулем деформации путем испытаний грунтов в скважинах штампами площадью 5000, 2500, 1000 или 600 см^2. В последние годы предпринимаются попытки внедрения скважинных штампов также площадью 150 и 100 см^2.

Получение корреляционных зависимостей по результатам испытаний в калибровочных камерах позволило зарубежным специалистам не ставить во главу угла разделение грунтов по генезису, что позволяет оперативно и с достаточной достоверностью выполнять расчеты в полевых условиях по результатам статического зондирования.

В 2007 году была предложена методика геометризации грунтовых массивов без выделения инженерно-геологических элементов (ИГЭ), разработанная на основе многочисленных полевых и лабораторных исследований. С ее внедрением термин «инженерно-геологический элемент» (ИГЭ) может получить иное значение в инженерно-геологических изысканиях (геотехнике) [1].

Подобный подход, по мнению авторов, близок к нейросетевой технологии, предлагаемой ведущим научным сотрудником НИИОСП им. Н.М. Герсеванова О.И. Игнатовой [10], а также к системологии инженерных изысканий, предлагавшейся ранее [11].

В связи с имеющейся градацией грунтов строго по генетическим типам определение свойств дисперсных дочетвертичных отложений стало самой большой проблемой в инженерно-геологических изысканиях. Например, только таблицей В1 действующего документа МГСН 2.07-01 [18] допускается применять масштабный коэффициент (m_k) лишь для «дочетвертичных тяжелых глин» (оксфордских), имеющих коэффициент пористости e, равный 1,2 и 1,4 (m_k соответственно равен 2,5 и

2,0, причем применим только для сооружений II и III уровней ответственности). И как бы ни назывались породы (грунты) дочетвертичных отложений — песками, супесями или суглинками — ни в одном нормативном документе нет даже упоминания о расчете любых характеристик для них. А то, что эти дисперсные дочетвертичные грунты очень часто являются основаниями для высотных зданий и подземных сооружений, остается вне внимания разработчиков нормативных документов.

В настоящее время мы, изыскатели, можем выдать для дочетвертичных грунтов (пород) лишь результаты прямых полевых или лабораторных определений без каких-либо переходных коэффициентов, которые бы позволили привести к расчету, например, деформационных или прочностных характеристик грунтов массива. По сути, проектировщикам выдается «пустышка», с которой они нередко не знают, что делать.

Следует особо отметить, что упоминавшаяся выше статья О.И. Игнатовой [9] является весьма важной для изучения дочетвертичных отложений, поскольку посвящена исследованию деформационных и прочностных характеристик юрских глинистых грунтов. На основании многочисленных результатов инженерно-геологических изысканий, выполненных многими организациями г. Москвы, этим автором была проведена статистическая обработка собранных материалов с использованием теории корреляционно-регрессионного анализа. Также были проведены исследования корреляционных связей деформационных и прочностных характеристик с физическими параметрами грунтов, а для модуля деформации − еще и с удельным сопротивлением грунта внедрению конуса при статическом зондировании. Большое значение имеют и полученные О.И. Игнатовой коэффициенты перехода от компрессионного модуля деформации юрских отложений к модулю деформации, определяемому в массиве грунта штампами.

Подобные исследования проводились ранее Р.С. Зиангировым и В.И. Каширским [5] также на основе параллельных сопоставительных испытаний юрских грунтов статическим зондированием и штампами при параллельном испытании грунтов — аналогов лабораторными методами, результатом которых явилась зависимость:

$$E = 8q_c. \quad (1)$$

О.И. Игнатова [9] на основе большого статистического материала уточняет эту зависимость и предлагает ее в следующем виде:

$$E = 8{,}5 + 5q_c. \quad (2)$$

Полученные зависимости деформационных и прочностных характеристик от числа пластичности (I_p), показателя текучести (I_L) и коэффициента пористости (e) позволили создать таблицы характеристик указанных грунтов, которые могут быть

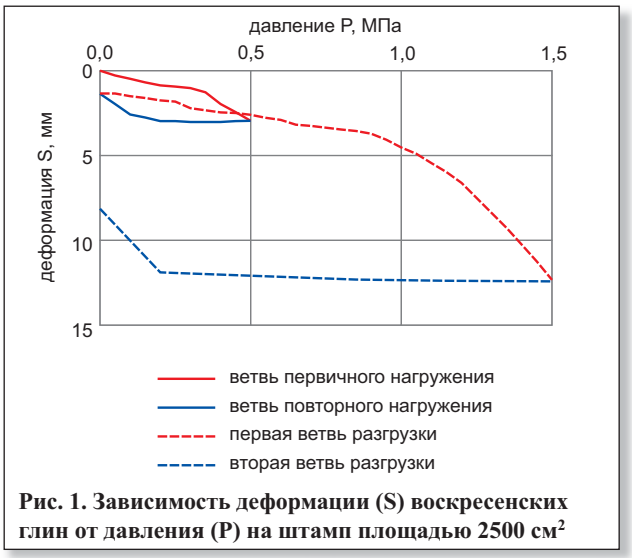


Рис. 1. Зависимость деформации (S) воскресенских глин от давления (Р) на штамп площадью 2500 см^2

включены в будущие нормативные документы и стать базой для нормирования дочетвертичных отложений. Это тем более легко осуществить, поскольку в НИИОСП им. Н.М. Герсеванова разработан стандарт организации (СТО) по определению деформационных характеристик юрских глинистых грунтов г. Москвы [23].

Для определения физико-механических свойств карбоновых воскресенских глин в массиве была выполнена масштабная работа на участке № 11 строительства Московского международного делового центра (ММДЦ) «Москва-Сити» при проведении ООО «ГрандГЕО» дополнительных инженерно-геологических изысканий. На дне котлована глубиной более 25 м была сварена специальная ферма, способная выдержать более 100 т нагрузки. Анкерами ей служили 4 сваи диаметром 1,3 м и длиной более 15 м каждая. Испытания проводились плоскими круглыми жесткими штампами трех площадей (600, 2500, 5000 см^2) в соответствии с требованиями ГОСТ 20276-99 и ГОСТ 30672-99 до максимальных нагрузок 1,0–1,5 МПа [7].

Разработанная авторами статьи [7] методика проведения испытаний по двум ветвям нагружения позволила интерпретировать полученные результаты с большей достоверностью. Первичная ветвь нагружения выполнялась до 0,5 МПа (до бытовой нагрузки), затем производилась разгрузка до 0 МПа и повторялось нагружение до 1,5 МПа с последующей разгрузкой ступенями до 0 МПа.

Модули деформации воскресенских глин были рассчитаны для трех интервалов давлений: (1) 0,3–0,5 МПа — для первичной ветви нагружения штампа до природной нагрузки, снятой при выемке грунта из котлована; (2) 0,3–0,5 МПа — для повторной ветви нагружения до природной нагрузки; (3) 0,7–0,9 МПа — для второго участка повторного нагружения, соответствующего проектным нагрузкам.

На основе архивных материалов, анализа полевых испытаний штампами и прессиометрами и геофизических исследований профессором Р.С. Зиангировым были составлены таблицы величин физических характеристик, штамповых и компрессионных модулей деформации воскресенских глин

Таблица 2

Величины некоторых физических характеристик для пород воскресенской толщи

Физическая характеристика			Величина
Плотность частиц ρ_s, г/см^3	доломиты		2,83
	глинистые известняки		2,71–2,74
	глинистые разности		2,72
Число пластичности I_p*	суглинки		13–17
	глины		17–24
Влажность глин W			0,14–0,16
Свободное относительное набухание глин ε_{sw}			≤ 0,04
Показатель текучести глин I_L			0,3–0,5(т.е. глины твердые)
Коэффициент пористости e	глины		0,4–0,6
	известняки и доломиты		0,2–0,3
Результаты сдвиговых испытаний глин	угол внутреннего трения φ,°	глины	11–15
		карбонатные слои	22–24
	удельное сцепление c, МПа	глины	0,28
		карбонатные слои	0,40
Модуль деформации глин E, МПа, по результатам испытаний	компрессионных		40
	трехосных		70

* Данные I_p и W_L группируются вокруг линии $I_p = 0{,}73$ (W_L — 14), где W_L — граница текучести (предельная влажность для перехода грунта в текучее состояние).

(табл. 2, 3), а также построены графики испытаний в зависимости от площадей штампов (5000, 2500, 600 см^2) и деформаций грунта в зависимости от давления, на основании которых были выделены две группы значений модуля деформации. К первой группе отнесены значения E, характерные для глинистых толщ в диапазоне 125–223 МПа со средним значением E = 162 МПа. Ко второй группе — значения E (225–448 МПа), характерные для глин со значительным количеством жестких прослоев из известняков, доломитов и мергелей со средним значением E = 328 МПа.

Средневзвешенное значение модуля деформации слоистой толщи производилось по формуле:

$$E_{\text{ср.взв.}} = \frac{\sum_1^n h_i}{\sum_1^n \frac{h_i}{E_i}}, \qquad (3)$$

где h_i — толщина i-го прослоя грунта, E_i — модуль деформации в i-м прослое.

Для проектирования фундаментов в воскресенских глинах были рекомендованы модули деформации, рассчитанные для участка 0–0,5 МПа ветви повторного нагружения (рис. 1), поскольку вскрытие глубокого котлована привело к существенному разуплотнению глин в результате как упругих деформаций и выветривания, так и техногенных воздействий при возведении свай, вследствие чего сплошное строение глин было нарушено и появилось большое количество микротрещин. Свидетельством этого являются многочисленные просачивания («грифоны») подземных вод суворовско-мячковского горизонта на дне котлована. Кроме того, просачивание подземных вод в ряде случаев происходило через тела свай.

Таким образом, первичное нагружение до величины действовавшего природного давления позволило до известной степени уплотнить грунт и приблизить его к первичному состоянию.

Сопоставление результатов компрессионных и штамповых испытаний показало наличие существенной разницы между значениями компрессионного ($E_к$) и штампового ($E_ш$) модулей деформации для воскресенских глин. Сравнение значений $E_ш$ и для воскресенских глин одинаковой плотности дает значение масштабного коэффициента, который значительно превосходит табличные значения [7].

Предложенная методика определения деформационных характеристик воскресенских глин позволяет с достаточно высокой точностью получать модули деформации оснований фундаментов, а также в соответствии с выведенными зависимостями устанавливать коэффициенты корреляции с результатами компрессионных испытаний аналогичных грунтов и испытаний их прессиометрами, дилатометрами и пр.

По теме испытаний коренных пород (грунтов) штампами авторами настоящей статьи был сделан доклад на III Международном геотехническом симпозиуме в г. Харбине (КНР) в июле 2009 г. [25]. Следует отметить, что ученые и специалисты евразийского геотехнического симпозиума очень остро отреагировали на сообщение о просачивании подземных вод в котлован (в том числе через тела свай). В течение двух лет в котловане отсутствовала фундаментная плита, в результате чего происходило цикличное замачивание размокаемых и склонных к набуханию воскресенских глин и их промораживание, что могло привести к ухудшению физико-механических свойств массива. Например, величины значений свободного набухания исследуемых грунтов, по лабораторным данным, составили 14,4; 7,6 и 2,8, т.е. воскресенские глины являются *средне-*, *слабо-* и *ненабухающими*.

В связи с возможной деградацией воскресенских глин из-за техногенно-климатических воздействий на них в марте 2010 г. был выполнен дополнительный комплекс лабораторных исследований и штамповых испытаний. После обработки результатов полевых и лабораторных испытаний снижения модулей деформации грунтов основания выявлено не было.

Тем не менее в момент написания статьи (в декабре 2011 г.) возведение плитного фундамента не было завершено, продолжалось замачивание

Таблица 3

Модули деформации* воскресенских глин по результатам испытаний штампами разных размеров, МПа

Ветвь, участок нагружения штампа	Модуль деформации, МПа	Интервал значений для расчета модуля деф.	Площадь штампа, см²											
			5000				2500				600			
			№ испытания			среднее	№ испытания			среднее	№ испытания			среднее
Ветвь первичного нагружения до природной нагрузки	E_1	0,3–0,5	89	247	200	178	42	64	227	111	176	112	150	146
Ветвь повторного нагружения до природной нагрузки	E_2	0,3–0,5	149	422	328	300	210	151	339	233	176	193	225	198
Второй участок повторного нагружения до проектной нагрузки	E_3	0,7–0,9	101	474	122	192	169	126	282	192	149	160	193	167
Сравнение E_2 и E_1	E_2/E_1	-	1,67	1,71	1,64	1,69	5,00	2,36	1,49	2,10	1,00	1,72	1,50	1,36

* Для расчета величины модуля деформации значение коэффициента Пуассона принималось равным 0,27.

Таблица 4

Региональные корректировочные коэффициенты m_k для четвертичных супесей и суглинков на территории г. Томска

Вид грунта	Показатель текучести IL	Значения m_k при коэффициенте пористости e			
		0,55	0,65	0,75	0,85
Супеси	$I_L < 0$	2,3	2,1	1,8	1,5
	$0 \le I_L \le 1$	1,7	1,6	1,5	1,2
Суглинки	$I_L < 0$	2,6	2,2	1,9	1,7
	$0 \le I_L \le 0,25$	2,4	2,1	1,8	1,5
	$0,25 < I_L \le 0,50$	2,3	2,0	1,7	1,4
	$0,50 < I_L \le 0,75$	2,2	1,9	1,6	1,3
	$0,75 < I_L \le 1$	1,9	1,7	1,4	1,2

Рис. 2. Замачивание и промерзание воскресенских глин в котловане на 11 участке строительства ММДЦ «Москва-Сити»

массива, промерзание грунтов дна котлована, а также за стеной в грунте (рис. 2).

На основании изложенного выше считаем, что в нормативные документы на инженерно-геологические и геотехнические изыскания следует внести требование о необходимости включения в технические отчеты (заключения) расчетов о степени морозной пучинистости всех грунтов до дна котлована плюс на глубину сезонного промерзания в данном регионе на случай их возможного промораживания в открытом котловане.

Вновь обращаем внимание на то, что в условиях интенсивного городского строительства при проектировании высотных и заглубленных сооружений, а также в связи с кардинально изменившимся подходом к изысканиям и выявлением целого ряда недостатков и упущений в области изысканий, проектирования и во всей строительной отрасли следует уделять особое внимание разработке нормативной документации, соответствующей требованиям сегодняшнего дня. При этом для московского региона особенно важны масштабные исследования физико-механических свойств меловых, юрских и карбоновых грунтов и пород. Для других регионов актуально обеспечение изыскателей нормативно-правовой базой для полноценных исследований свойств грунтов и пород, являющихся основаниями зданий и сооружений, характерных для соответствующих территорий.

Авторы убеждены в том, что региональный (территориальный) подход к изысканиям должен превалировать над административно-командными способами назначения единых норм от Калининграда до Берингова пролива без учета местных инженерно-геологических условий.

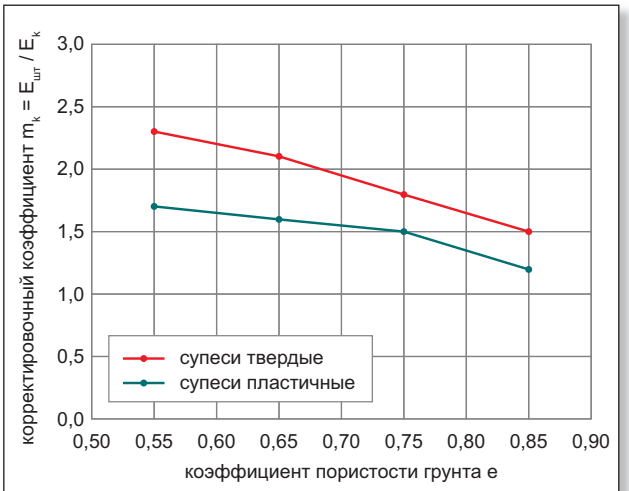


Рис. 3. Графики зависимости корректировочного коэффициента m_k от коэффициента пористости грунта e для супесей

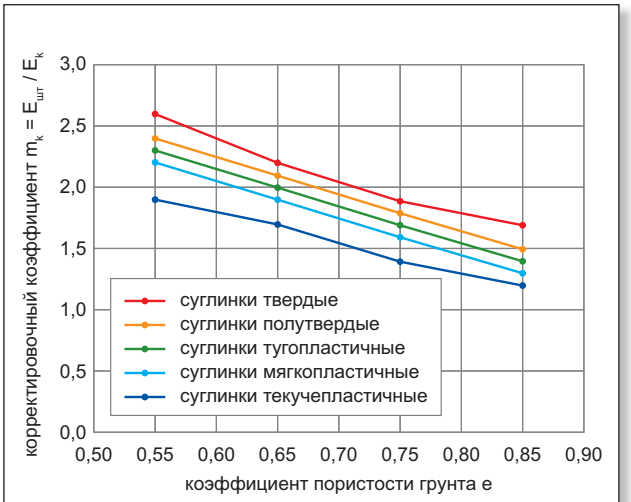


Рис. 4. Графики зависимости корректировочного коэффициента m_k от коэффициента пористости грунта e для суглинков

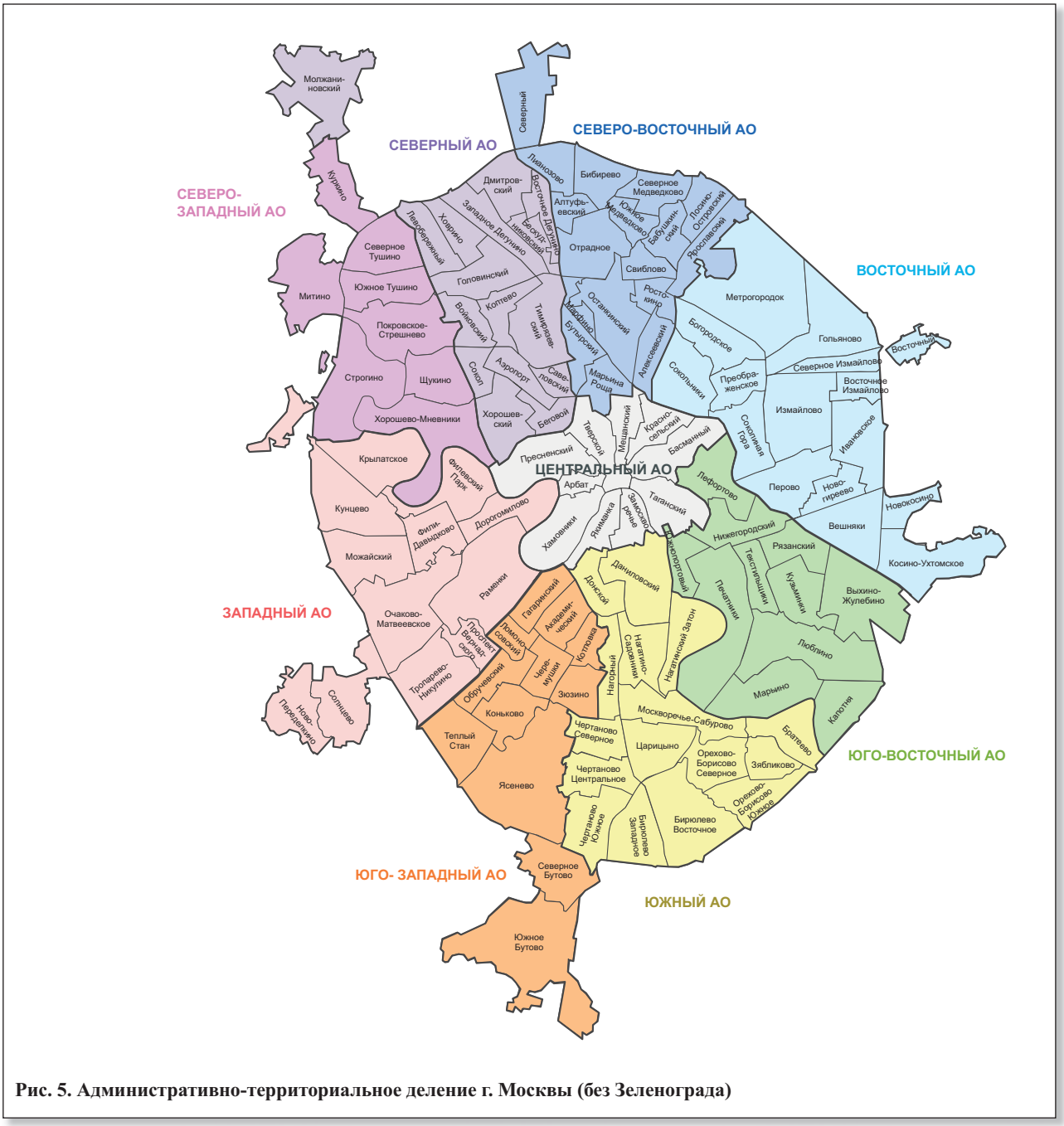


Рис. 5. Административно-территориальное деление г. Москвы (без Зеленограда)

В качестве положительного примера рационального подхода к обеспечению инженерно-геологических изысканий нормативной документацией с учетом местных условий можно привести региональные нормативы градостроительного проектирования Томской области [20]. Авторы рекомендаций на основании длительных и детальных исследований показали, что значения корректировочных коэффициентов m_k могут существенно отличаться от рекомендованных «общесоюзными» нормативными документами и нуждаются в уточнениях с учетом региональных особенностей грунтов, интервалов давлений компрессионного модуля деформации, коэффициента поперечной деформации в зависимости от пористости грунтов и других их физических свойств [20].

В таблице 4 представлены региональные m_k, характерные для томских четвертичных супесей и суглинков [20]. Несомненно, что можно выявить и другие закономерности при более детальном изучении свойств и других видов грунтов данной территории, в том числе и нечетвертичных.

На рисунках 3, 4 представлены графики зависимости корректировочных коэффициентов m_k от коэффициентов пористости e супесей (см. рис. 3) и суглинков (см. рис. 4), характерных для территории г. Томска.

Возвращаясь к московскому региону, снова укажем на неразумность административно-управленческого характера изучения свойств грунтов и пород. Во всей полноте этот аспект открывается на примере г. Москвы. До нахождения столицы в пределах Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) проблемы региональных изысканий внешне не проявлялись, но с образованием Зеленоградского административного округа ее территория отошла в ведение Москомархитектуры и началась нормативно-правовая «чехарда» в области изысканий, проектирования и строительства. В Зеленограде, отстоящем от МКАД на 17 км, действует столичная нормативно-правовая база, существенно отличающаяся от федеральной, действующей на территориях, например, Химок, Сходни и т.д., где пакет разрешительных документов совсем иной, чем в Зеленограде (здесь другие требования к получению разрешения на изыскания и открытие ордеров и, самое главное, другие нормативные документы, в соответствии с которыми проводятся изыскания и осуществляется обработка полевых и лабораторных изысканий).

В некоторых местах вообще доходит до абсурда: например, город Люберцы разделен практически пополам, часть его территории отнесена к Москве, а другая – к трудно произносимому «муниципальному образованию» Люберцы, в результате нередко на два соседних дома одного города приходится оформлять документы для двух «удельных княжеств».

Мегаполис с растущим населением, интенсивным строительством, в том числе транспортным, не может не расширяться. Но если посмотреть на современную карту Москвы (памятуя о Зеленограде в 17 км от МКАД), то можно увидеть ее сходство с амебой (рис. 5), поскольку столице за пределами МКАД в настоящее время принадлежат Куркино, Молжаниново, Митино, Солнцево, Ново-Переделкино, Северное и Южное Бутово, Ново-Косино, Косино-Ухтомское и др., где изыскатели постоянно сталкиваются с теми же проблемами, что и в Зеленограде и Люберцах.

Таблица 5

Основные показатели физико-механических свойств верхнеюрских глин (ИГЭ-12) на территории застройки 1-й очереди жилого микрорайона «Южный» г. Домодедово

Показатель		Природная влажность W, д.е.	Влажность на границе текучести W_L, д.е.	Число пластичности I_P, д.е.	Показатель текучести I_L, д.е.	Плотность влажного грунта ρ, г/см^3	Коэффициент пористости e	Угол внутреннего трения грунта в естественном состоянии φ, ° (град.)	Удельное сцепление грунта в естественном состоянии c, кПа	Модуль деформации, МПа, для грунта в ест. сост.			
										компрессионный $E_к$		общий $E_{общ}$	
										При бытовом давлении	При давлении 0,1–0,2 МПа	Приведенное значение	По данным трехосных исп.
Число определений		40	40	40	40	40	40	13	13	12	12	12	4
Значение параметра	мин.	0,38	0,71	0,26	-0,57	1,64	1,08	9	26	4	3	14	27
	макс.	0,55	1,00	0,48	0,24	1,81	1,52	16	49	10	9	46	37
	сред.	0,46	0,83	0,34	-0,11	1,71	1,33	12	37	6	6	29	31
Коэф. вариации		0,10	0,07	0,17	-1,81	0,02	0,09	0,21	0,21	0,18	0,35	0,18	0,16
При a*	0,85	0,45	0,80	0,30	-0,19	1,71	1,31	11	34	6	5	28	29
	0,95	0,44	0,79	0,30	-0,22	1,70	1,30	11	33	6	5	26	27

* a — доверительная вероятность (обеспеченность) расчетных значений.

Таблица 6

Результаты контрольного определения повышающего коэффициента m_k для юрских глин ИГЭ-12

Показатель	Значения																Среднее
$E_к$*	6,2	5,1	6,6	5,4	5,0	4,6	4,9	4,5	8,8	5,2	4,9	7,2	4,8	6,1	8,8	5,3	5,8
$E_ш$	23	32	28	30	31	30	31	28	29	27	29	30	27	30	28	30	28,9
m_k**	3,7	6,3	4,2	5,6	6,2	6,5	6,3	6,2	3,3	5,2	5,9	4,2	5,6	4,9	3,2	5,7	5,2

* С учетом коэффициента mk = 3,2 ÷ 3,3 из табл. 3, 4 СТО [25] и значения $E_{общ}$ = 18 ÷ 19 МПа.
** По СП 22.13330.2011 (СНиП 2.02.01-83*).

На рисунке 6 представлена схема перспективного развития г. Москвы с увеличением территории в 2,4 раза (вплоть до Калужской области).

По мнению авторов настоящей публикации, необходимо создание единой геологической службы московского региона с единой региональной нормативно-правовой базой. В этой мысли авторы утвердились в процессе проведения полномасштабных инженерно-геологических и геоэкологических изысканий по договору с ЗАО «Мосстройреконструкция» на территории застройки 1-й очереди жилого микрорайона «Южный» в районе «Центральный» г. Домодедово Московской области (с последующей камеральной обработкой полевых и лабораторных ма-

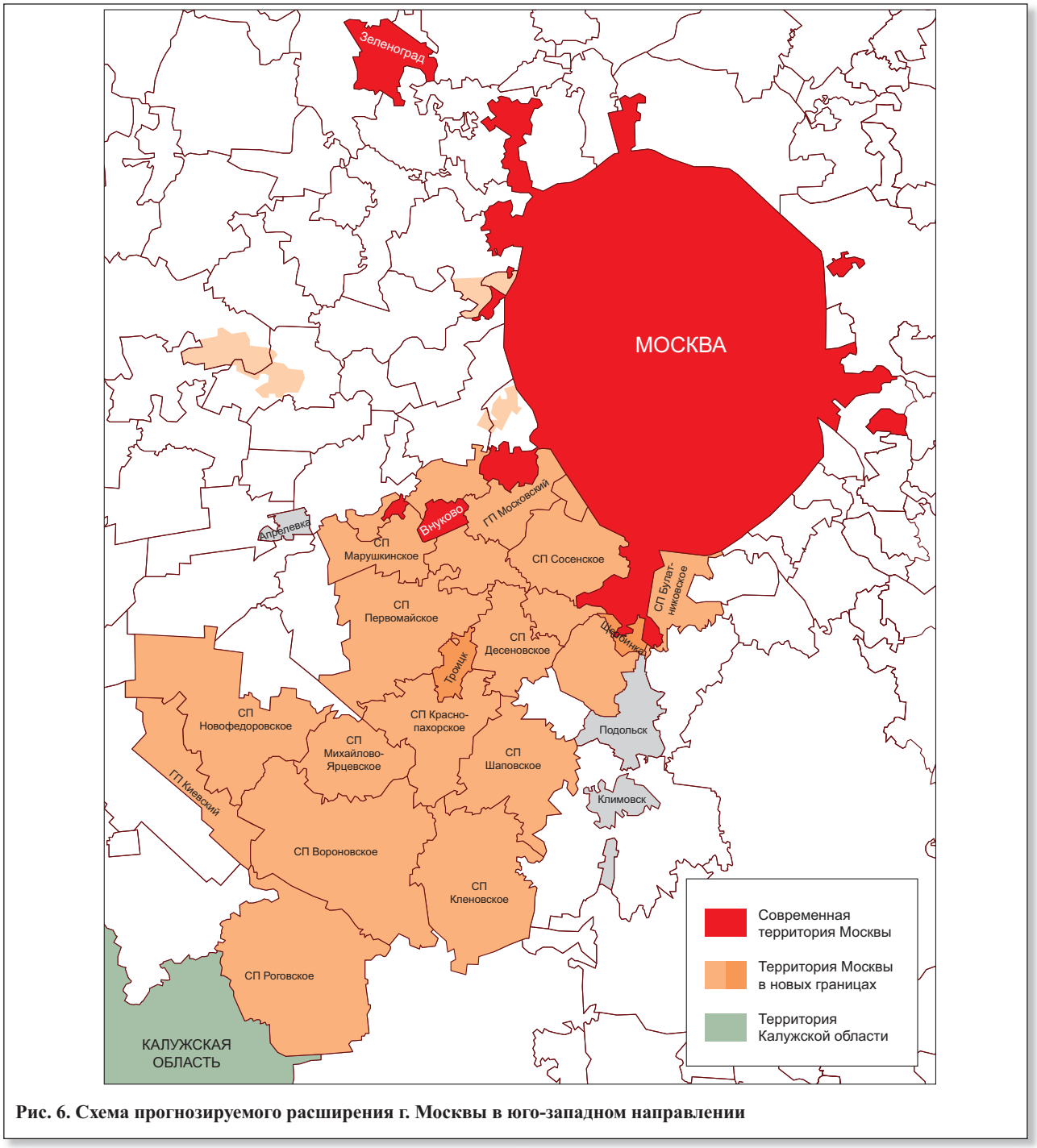


Рис. 6. Схема прогнозируемого расширения г. Москвы в юго-западном направлении

териалов и выпуском технического заключения летом — осенью 2011 г. Следует отметить, что город Домодедово расположен посередине между МКАД и Калужской областью (да и аэропорт Домодедово в перспективе может стать частью Москвы).

Но более всего, на взгляд авторов, интересны результаты исследований физико-механических свойств дочетвертичных грунтов, в частности верхнеюрских отложений. В таблице 5 представлены основные показатели физических свойств верхнеюрских (J_3) твердых и полутвердых глин (ИГЭ-12), а также их деформационных и прочностных характеристик, полученные по результатам лабораторных испытаний.

Но наибольший интерес вызывают повышающие коэффициенты (m_k), полученные в результате обработки данных компрессионных определений модулей деформации лабораторными методами ($E_к$) и испытаний грунтов-аналогов вертикальными статическими нагрузками штампами в интервале глубин от 11,7 до 22,0 м ($E_ш$). Эти данные представлены в табл. 6. Из нее следует, что масштабные коэффициенты m_k практически в 1,5–2,0 раза превышают рекомендуемые (3,2–3,3 по табл. 3, 4 СТО [23]).

Если юрские глины, рассмотренные в качестве примера выше, каким-то образом нормированы, то меловые и юрские пески, меловые и верхнекаменноугольные глины (московского региона) обойдены вниманием разработчиков нормативных документов.

Вывод из написанного выше напрашивается один — требуется объединение всех сил членов изыскательского (геотехнического) сообщества для основательной переработки действующей нормативной базы для грунтов, находящихся в зонах строительной деятельности, характерных для каждого региона (в особенности дочетвертичных отложений). Несомненно, будущее принадлежит региональным нормативным документам, которые должны будут разрабатываться на основе и при неукоснительном соблюдении обязательных требований нормативов высшего ранга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барвашов В.А., Каширский В.И.* Геометризация геомассивов без выделения инженерно-геологических элементов // Материалы третьей общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», 20–21 декабря 2007 г. М.: ОАО «ПНИИИС», 2008. С. 33–41.
2. ГОСТ 19912-2001. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. М.: Госстрой РФ, МНТКС, 2001.
3. ГОСТ 20069-74. Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием. М.: Госстрой СССР, 1974.
4. ГОСТ 20069-81. Грунты. Метод испытания статическим зондированием. М.: Госстрой СССР, 1981.
5. *Зиангиров Р.С., Каширский В.И.* Оценка деформационных свойств дисперсных грунтов по данным статического зондирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2005. № 1. С. 12–16.
6. *Зиангиров Р.С, Каширский* В.И. Оценка модуля деформации дисперсных грунтов по данным статического зондирования // Строительство. 2004. № 30. С. 74–82.
7. *Зиангиров Р.С., Каширский В.И.* Оценка модуля общей деформации воскресенских глин с использованием метода статических нагрузок штампами // Инженерная геология. 2009. № 1. С. 44–50.
8. *Зиангиров Р.С., Каширский В.И., Дмитриев С.В.* Проблемы интерпретации результатов статического зондирования // Материалы Денисовских чтений. М.: Изд-во МГСУ, 2005. С. 103–107.
9. *Игнатова О.И.* Деформационные и прочностные характеристики юрских глинистых грунтов Москвы // Инженерные изыскания. 2009. № 12. С. 36–40.
10. *Каширский В.И.* Инженерные изыскания для проектирования и строительства подземных сооружений // СтройПРОфиль. 2008. № 4. С. 24–27.
11. *Каширский В.И.* К слову о словах или о терминологии в инженерных изысканиях // Инженерные изыскания. 2009. № 11. С. 16–23.
12. *Каширский В.И.* Методика исследований состава и свойств дисперсных грунтов полевыми методами в условиях мегаполиса (на примере г. Москвы): автореф. дис. . . . канд. техн. наук. М.: Изд-во ПНИИИС, 2005. 26 с.
13. *Каширский В.И.* Нормативные документы в условиях перехода к саморегулируемым организациям // Сергеевские чтения. Вып. 12. Научное обоснование актуализации нормативных документов инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий. М.: Изд-во РУДН, 2010, С. 30–39.
14. *Каширский В.И.* Системология комплексных инженерных изысканий для строительства // Сборник докладов тематической научно-практической конференции «Городской строительный комплекс и безопасность жизнеобеспечения граждан». М.: Изд-во МГСУ, 2005. С. 249–255.
15. *Каширский В.И., Дмитриев С.В.* Саморегулирование, кооперация изыскательских организаций, их лицензирование и нормативная база // Материалы IV Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», Москва, 16–17 декабря 2008 г. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. С. 145–148.
16. *Кашперюк П.И., Юлин А.Н.* Традиционные методы испытаний грунтов и их применимость при инженерно-геологических изысканиях в строительстве // Материалы Денисовских чтений. М.: Изд-во МГСУ, 2000. С. 58–61.
17. МГСН 2.07-97. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Правительство Москвы, 1998.
18. МГСН 2.07-01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: Правительство Москвы, 2003.
19. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М.: Стройиздат, 1986. 415 с.
20. Рекомендации по определению значений модуля деформации грунтов по результатам компрессионных испытаний с использованием региональных корректировочных коэффициентов. Томск: 2007. 22 с.
21. СНиП 1.02.07-87. Инженерные изыскания для строительства. М.: Госстрой СССР, 1988.
22. СП 11-105-97. Свод правил по проектированию и строительству. Инженерные изыскания. М.: Госстрой РФ, 1998.
23. СТО 36554501-020-2010. Деформационные и прочностные характеристики юрских глинистых грунтов Москвы. М.: Изд-во ОАО «НИЦ “Строительство”», 2010. 11 с.
24. ENV 1997-1. Eurocode 7. Ceotechnicai Design. Part 1. General Rules. ENV Version. CEN (Europian Committee for Standar*dization), 1994.*
25. *Ziangirov R.S., Kashirsky V.I., Barvasyov V.F., Dmitriev S.V.* Determination of soil deformation modulus in excavations by static plate tests // Proceedings of the 3d International Geotechnical Symposium on Geotechnical Engineering for Disaster Prevention and Reduction. Harbin, July 22–24, 2009. Harbin, China: Harbin Institute of Technology, 2009. P. 98–103.

ОБ ЭФФЕКТЕ ПРЕКРАЩЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ В МОНТМОРИЛЛОНИТОВОЙ ГЛИНЕ

ON THE TERMINATION EFFECT OF FILTRATION IN MONTMORILLONITE CLAY

ГАБИБОВ Ф.Г.
Заведующий лабораторией механики грунтов, оснований и фундаментов Азербайджанского НИИ строительства и архитектуры, г. Баку, farchad@yandex.ru
КУЛЬЧИЦКИЙ Л.И.
Главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), Московская область
ГАБИБОВА Л.Ф.
Инженер Азербайджанского НИИ строительства и архитектуры, г. Баку

GABIBOV F.G.
The head of the Soil Mechanics and Foundation Engineering laboratory of the Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku, farchad@yandex.ru
KULCHITSKY L.I.
A principal researcher of the All-Russian Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology (VSEGINGEO), the Moscow Region
GABIBOVA L.F.
An engineer of Azerbaijan Research Institute of Construction and Architecture, Baku

Ключевые слова:
монтмориллонитовая глина; фильтрация воды; давление; уплотнение; прекращение процесса фильтрации; модельный анализ; коэффициент поверхностного трения; микрочастицы монтмориллонита; макропоры; контактные поры.

Key words:
montmorillonite clay; water filtration; pressure; compaction; termination of the filtration process; simulation study; surface friction coefficient; montmorillonite microparticles; macropores; contact pores.

Аннотация

На основе экспериментальных исследований авторами статьи впервые было обнаружено прекращение процесса фильтрации воды в монтмориллонитовой глине при нагрузке более 1,6 МПа. В глинах другого минерального состава этот эффект обнаружен не был. Модельный анализ показал, что из-за самого низкого коэффициента поверхностного трения микрочастицы монтмориллонита под давлением могут максимально надвигаться друг на друга и размеры их макропор доходят до размеров контактных пор.

Abstract

On the basis of their experimental investigation the authors of the article for the first time detected termination of the filtration process in montmorillonite clay loaded by more than 1,6 MPa. They did not detect such effects in clays of other mineral composition. The simulation study revealed that montmorillonite microparticles under pressure could maximally move onto each other because of the lowest surface friction coefficient and their macropore sizes reached the contact pore sizes.

Введение

Процесс фильтрации воды и водных растворов электролитов в глинистых грунтах отличается большой сложностью и к настоящему времени недостаточно изучен. Тонкодисперсный глинистый грунт со значительной удельной поверхностью характеризуется наличием межмолекулярных сил и поверхностных процессов. С этим связана чрезвычайно низкая фильтрационная способность глинистых грунтов. В инженерной практике указанное полезное свойство глинистых грунтов используется при сооружении противофильтрационных экранов и ядер гидротехнических сооружений. В последнее время большую актуальность получила проблема создания надежных глинистых экранов для хранилищ токсичных отходов.

Заметный вклад в изучение закономерностей фильтрации, диффузии и осмоса для глинистых грунтов внесли К. Терцаги, С.В. Нерпин, Н.Ф. Бондаренко, И.А. Брилинг, Б.Ф. Рельтов, Г.М. Березкина, В.М. Павилонский, Л.И. Кульчицкий, В.М. Гольдберг и др.

В настоящее время доказано [2, 6], что вода при фильтрации через тонкодисперсные системы ведет себя как ньютоновская жидкость.

Повышение средней вязкости воды в глинистых системах может составлять 50%. Установлено, что толщина слоев воды с измененной структурой вблизи поверхности кварца в капиллярах составляет несколько нанометров [6]. Это свойственно и глинистым грунтам [2, 9]. Здесь граничные слои воды имеют повышенную вязкость, но не обнаруживают (в пределах возможной ошибки измерений) неньютоновского поведения. Исследования скоростей фильтрации воды ($V_ф$) в тонких порах стеклянных мембран со средним радиусом пор 105 нм показали [2], что в пределах точности экспериментов скорость фильтрации подчиняется закону Дарси:

$$V_ф = K_ф J, \qquad (1)$$

где $K_ф$ — коэффициент фильтрации; J — градиент напора.

Иногда наблюдаются отклонения от этой закономерности и вводится так называемый начальный градиент J_0. Тогда

$$V_ф = K_ф (J - J_0) \qquad (2)$$

и при градиенте $J \le J_0$ течения жидкости нет.

Относительно наличия начального градиента фильтрации в глинистых грунтах нет единого мнения, и вопрос о нем в известной мере остается дискуссионным. В одних работах [4] отмечается его существование, а в других [11] утверждается его отсутствие.

Различные авторы дают различные объяснения природы начального градиента фильтрации. А.К. Митчелл и Дж. С. Яангер [13] в своей обзорной работе по исследованиям западных ученых отметили в этом отношении следующее: (1) неньютоновское поведение воды, квазикристаллическое строение; (2) электрокинетику, осмос; (3) миграцию коллоидных частиц в потоке, закупорку пор; (4) рост бактерий; (5) взаимодействие отступающего и нарастающего менисков, загрязнение капилляра.

Е.М. Сергеев и др. [12] объясняют существование начального градиента в глинистых грунтах заполнением узких пор между частицами пленочной связанной водой, защемляющей при этом свободную воду в более крупных порах, и ее последующим сдвигом при увеличении градиента напора.

Одно время природу начального градиента фильтрации в глинистых грунтах связывали с тем, что вода обладает конечной величиной сдвига как собственно в объеме, так и в граничных слоях. Соответственно, $\tau_0 = 10^{-8}$ Н/см^2 и $\tau_0 = 10^{-7}$ Н/см^2 [1]. Однако при более строгом рассмотрении задачи эффект начального градиента, наблюдающийся при фильтрации, связывают с влиянием капиллярного осмоса [2, 3, 5]. При его отсутствии фильтрация в пористых телах с радиусом пор до 1 нм подчиняется закону Дарси и экспериментально получаемые зависимости $V_ф J$ являются линейными и проходят через начало координат. Отклонения от линейности могут происходить вследствие набухания глинистых грунтов, что следует учитывать при экспериментальном определении зависимости $V_ф J$.

Известно, что при течении растворов электролитов в тонкопористых телах и глинистых грунтах под воздействием градиента напора фильтрационный и капиллярно-осмотический потоки обычно действуют одновременно. При этом скорость фильтрации может изменяться при возникновении в пористом теле встречного или однонаправленного капиллярно-осмотического потока. В первом случае встречный поток тормозит фильтрацию, что приводит к отклонению от закона Дарси и возникновению эффекта начального градиента. Предполагается, что процесс фильтрации водных растворов в таких глинистых грунтах существенным образом может изменяться вследствие изменения баланса действия поверхностных сил, а также структуры граничных слоев воды и диффузных адсорбционных слоев ионов [6].

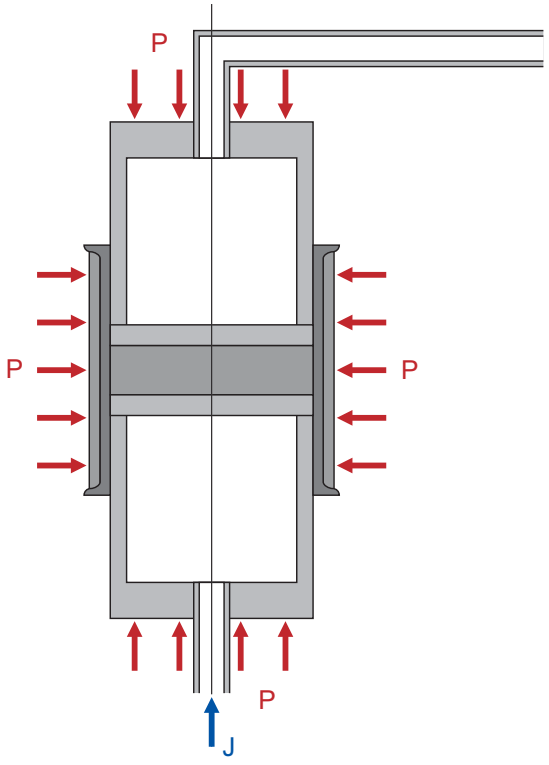


Рис. 1. Схема модернизированного узла с образцом испытываемого грунта в фильтрационном приборе УИПК-1М для одновременного измерения скоростей фильтрационного и капиллярно-осмотического потоков в глинистых грунтах (объяснения в тексте)

Методика исследований

Для учета явлений капиллярно-осмотического переноса воды и водных растворов электролитов через глинистые грунты ранее предлагались различные методы, сводившиеся к раздельному определению суммарной скорости переноса воды через глинистый грунт и осмотического переноса под воздействием заданных градиентов напора, концентрации и температуры с последующим внесением соответствующих поправок [2]. Однако эти методы трудоемки, требуют специального нестандартного оборудования и не позволяют исследовать динамику развития фильтрационно-осмотических процессов в глинистых грунтах.

Авторами настоящей статьи была разработана методика определения скорости фильтрации воды в глинистых грунтах в зависимости от градиента напора с помощью немного усовершенствованного прибора УИПК-1М [7]. При этом моделируется не только геостатическое и пластовое давление, что предусматривается в конструкции этой установки, но и перепад концентрации электролитов по обе стороны испытываемого образца. Для этого металлические плунжеры, передающие на образец торцевое давление масляного пресса и имеющие в центре осевой канал для подачи и отвода жидкости, заменяют на плунжеры-камеры *1* и *9* с перфорированным торцом *7*, изготовленные из плексигласа (рис. 1). В эти камеры заливают испытываемые растворы различной концентрации для создания градиента концентрации. Одновременно на входе в образец 6 создают определенный гидростатический напор для проведения фильтрационных испытаний. Таким образом измеряют суммарную скорость про-

текания жидкости через образец грунта за счет градиентов напора и концентрации электролита.

Вся методика определения коэффициента фильтрации глинистых грунтов с учетом осмотических потоков сводится к следующему. Образец грунта в виде цилиндра *6* высотой 1–5 см и диаметром 3 см помещают в резиновую манжету *4*, находящуюся в перфорированной гильзе *5*. С помощью масляного пресса создают всесторонний обжим образца, величина которого P не превышает давление его предварительного или естественного уплотнения. Торцевой обжим осуществляют с помощью полых плунжеров *1* и *9*. В полости *3* и *8* перед испытанием вводят растворы электролита заданных концентраций. При этом на выход из образца (камера *3*) подают рабочую жидкость, имеющую повышенную или пониженную концентрацию солей по сравнению с рабочей жидкостью на входе, что вызывает капиллярно-осмотический поток через образец грунта. Одновременно на входе через канал подводящего патрубка *10* создают в полости *8* плунжера *9* определенный гидростатический напор для проведения фильтрационных испытаний. Когда концентрация электролита в полости *3* плунжера *1* превышает концентрацию электролита в полости *8* плунжера *9*, то направление осмотического потока через образец совпадает с направлением фильтрационного потока. Когда же концентрация электролита в полости *8* плунжера *9* выше, чем в полости *3* плунжера *1*, то направление осмотического потока противоположно фильтрационному.

Скорость течения жидкости через образец грунта $V_{сум}$ определяют по расходу электролита в градуированном капилляре *2*, соединенном с патрубком на выходе плунжера *9*, за определенные отрезки времени. Скорость и направление осмотического потока определяют следующим образом. Строят график зависимости $V_{сум}(J)$, как это показано на рис. 2. Полученную зависимость в виде прямой 1 или 2 экстраполируют до пересечения с осью ординат (скоростей). Затем измеряют отрезок прямой, отсекаемой на оси скоростей графика $V_{сум}(J)$ при $J = 0$. Полученное значение и будет характеризовать величину скорости осмотического потока $V_{осм}$.

При встречных направлениях фильтрационного и осмотического потоков (прямая 2 на рис. 2) точка пересечения прямой $V_{сум}(J)$ с осью скоростей будет находиться на ее отрицательной ветви. Отрезок, отсекаемый прямой $V_{сум}(J)$ на оси J, как видно из рис. *2*, характеризует величину «начального градиента» фильтрации. При данном градиенте напора J_0 имеет место равенство:

$$V_ф = -V_{осм}. \qquad (3)$$

Величина $J_0 l$ (где l — толщина мембраны) при этом равна осмотическому давлению идеальной полупроницаемой мембраны:

$$\Delta P_0 = J_0 l = RT\Delta C, \qquad (4)$$

где R — газовая постоянная; T — абсолютная температура; ΔC — перепад концентраций.

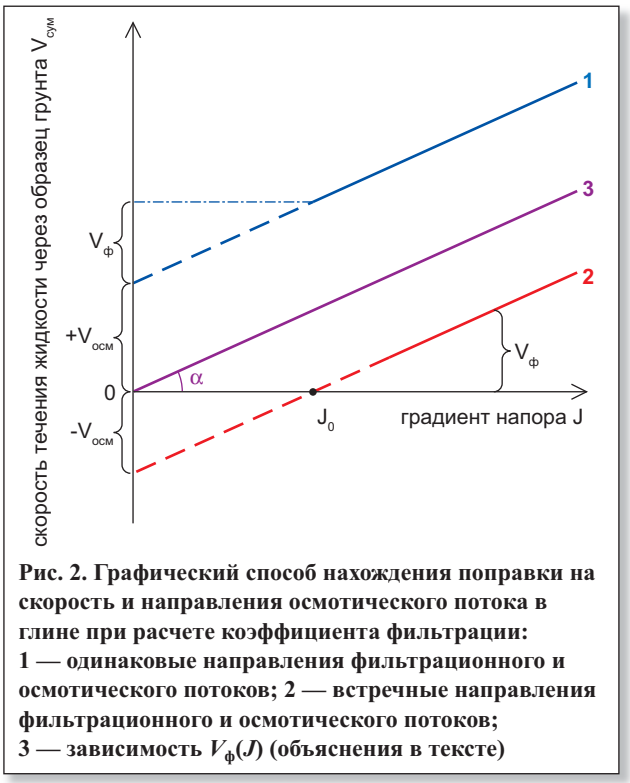


Рис. 2. Графический способ нахождения поправки на скорость и направления осмотического потока в глине при расчете коэффициента фильтрации: 1 — одинаковые направления фильтрационного и осмотического потоков; 2 — встречные направления фильтрационного и осмотического потоков; 3 — зависимость $V_ф(J)$ (объяснения в тексте)

Истинная скорость фильтрации $V_ф$ характеризуется прямой 3 (см. рис. 2), а коэффициент фильтрации $K_ф$ равен тангенсу угла α, образованного этой прямой с осью J.

$K_ф$ рассчитывают с учетом поправки на скорость и направление осмотического потока в глинистом грунте по формуле:

$$K_ф = (V_{сум} \pm V_{осм})\, J, \qquad (5)$$

где знак «–» берется в случае, когда направления фильтрационного и осмотического потоков совпадают, а знак «+», соответственно, — когда их направления не совпадают.

Экспериментальные исследования фильтрации глин при их уплотнении

Исследования авторов показывают, что при расчете коэффициента фильтрации без учета скоростей осмотических потоков в засоленных глинистых грунтах происходит примерно двукратное занижение или завышение результатов. Кроме того, было замечено, что с увеличением плотности глинистого грунта (с уменьшением пор) интенсивность осмотических процессов возрастает [8].

При изучении проницаемости Са-монтмориллонитовых глинистых грунтов (рис. 3) с учетом капиллярно-осмотического перетекания (при строгом термостатировании комнаты, в которой проводились эксперименты) было обнаружено, что после уплотнения грунта нагрузками более 1,6 МПа указанная глина приобретает свойство идеальной полупроницаемой мембраны и фильтрация под воздействием градиента напора прекращается. Авторы доводили величину напора J до 22 000.

Анализ многочисленных исследований, проведенный В.М. Гольдбергом и Н.П. Скворцовым [4],

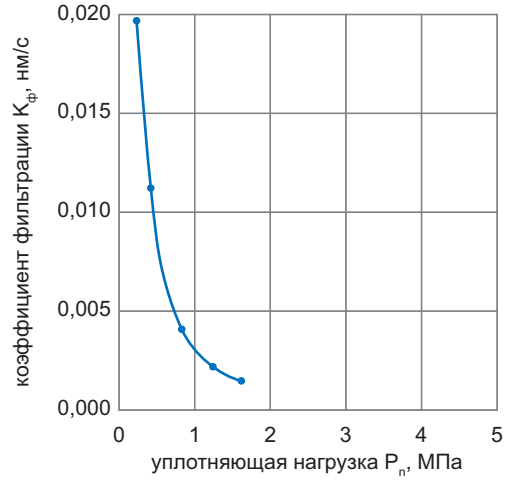


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации Са-монтмориллонита $K_ф$ от давления предварительного уплотнения $P_п$

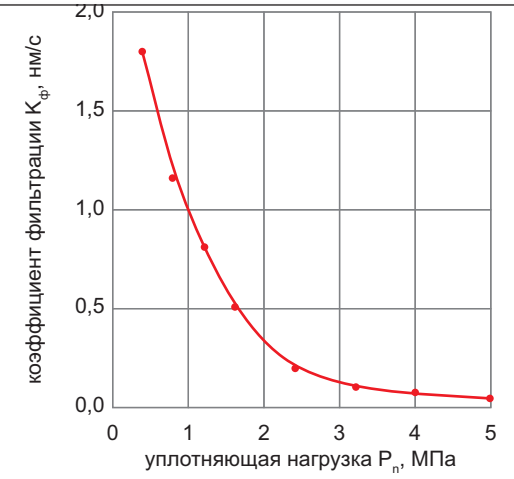


Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрации Na-каолинита $K_ф$ от давления предварительного уплотнения $P_п$

показал, что пористость различных глинистых грунтов характеризуется весьма высокими величинами, соизмеримыми с ее значениями для водовмещающих песчаных пород (и даже существенно превышающими их).

При проведении авторами настоящей статьи повторных экспериментов, несмотря на достаточно высокое значение пористости Са-монтмориллонита после его уплотнения нагрузками 1,6 МПа, было впервые обнаружено не известное ранее явление прекращения фильтрации в монтмориллонитовой глине. При этом эксперименты показали, что в каолинитовых (рис. 4) и гидрослюдистых (рис. 5) глинах вышеупомянутое аномальное явление не наблюдается.

Если исходить из ранее разработанной авторами физико-химической модели глинистого грунта (рис. 6, [10]), в которой микропорами являются поры в контактах между элементарными частицами, а плоские сквозные макропоры пронизывают систему, то именно в макропорах происходит фильтрация. Микропоры в фильтрации не участвуют, т.к. жидкость, находящаяся в них, связана активной поверхностью глинистых частиц и участвует только в диффузных и осмотических процессах.

Анализ полученного эффекта на основе физико-химической модели глины

Абсолютная микропористость Са-монтмориллонита значительно выше, чем Са-гидрослюды и каолинита, в основном за счет внутриагрегатной (межслоевой) микропористости. Для всех агрегированных глин характерно увеличение микропористости при их уплотнении за счет перекрытия наружных базисов микроагрегатов. Расчеты по модели показывают, что завершение интенсивного снижения макропористости Са-монтмориллонита соответствует достижению практически максимума микропористости при уплотнении глины нагрузками $P_п \approx 1{,}6$ МПа.

На рисунке 7 показана зависимость размера макропор различных глин от уплотняющей нагрузки. Видно, что при нагрузке $P_п \approx 1{,}6$ МПа размер макропор в Са-монтмориллоните достигает 100 Å, а в Са-гидрослюде и Na-каолините значения этого параметра даже при $P_п \approx 4{,}0$ МПа в 2,5–3,0 раза выше.

Микрореологический анализ с использованием вышеуказанной модели глинистого грунта показал, что действительно после уплотнения нагрузками $P_п \approx 1{,}6$–$2{,}0$ МПа размер макропор Са-монтмориллинитовых глин становится соизмеримым с размерами микропор. В связи с этим в таком грун-

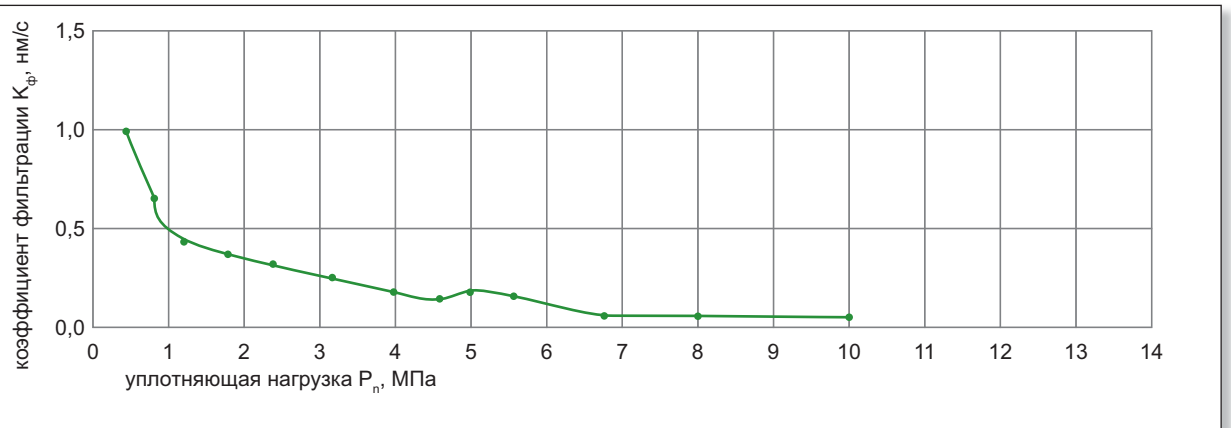


Рис. 5. Зависимость коэффициента фильтрации Са-гидрослюды $K_ф$ от давления предварительного уплотнения $P_п$

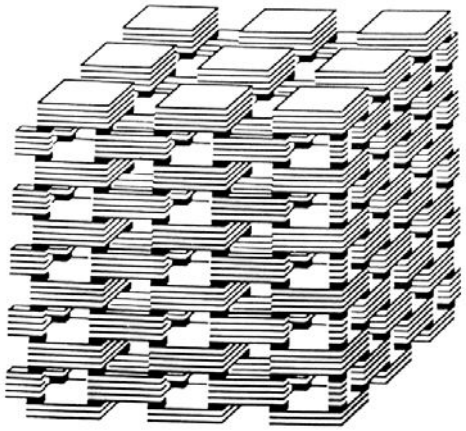


Рис. 6. Модель двухфазного глинистого грунта коагуляционной структуры

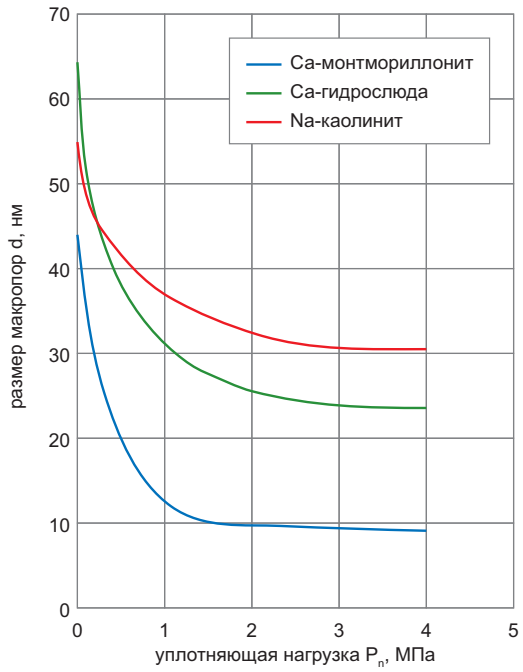


Рис. 7. Зависимость размера макропор двухфазных мономинеральных глин от уплотняющей нагрузки

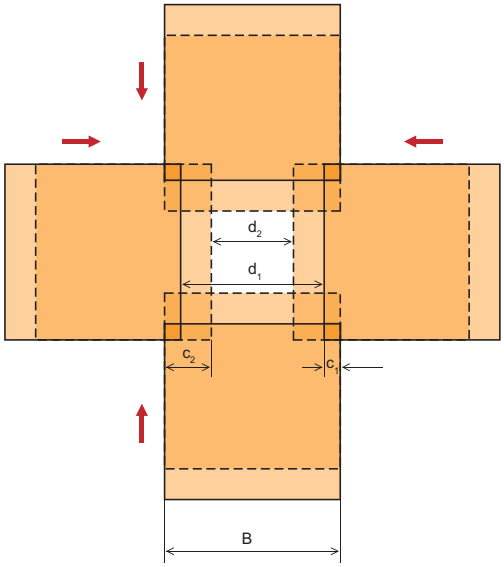


Рис. 8. Схема, объясняющая геометрию изменения микро- и макропор в горизонтальной плоскости модели в процессе уплотнения двухфазной глины: B — ширина микрочастицы или микроагрегата; d_1, d_2 — изменяющиеся диаметры макропоры; c_2, c_1 — изменяющиеся размеры контактных площадей между микрочастицами (микропоры)

те прекращаются фильтрационные процессы и он приобретает свойства полупроницаемой среды.

На рисунке 8 показана схема перемещения микрочастиц (или микроагрегатов) друг относительно друга при их уплотнении в горизонтальной плоскости. На этом рисунке наглядно видно, как при наезде частиц друг на друга увеличивается контактная поверхность и уменьшаются сквозные макропоры. Коэффициент поверхностного трения для монтмориллонитовых частиц наиболее низок, что позволяет им при уплотнении максимально сближаться с соседними частицами в тангенциальном (горизонтальном) направлении и доводить размер макропор до размера микропор, связывая находящуюся там воду поверхностными силами. Таким образом, вода, находящаяся в макропорах, уменьшенных до размеров микропор, не может участвовать в фильтрационном процессе.

В гидрослюдистых и каолинитовых глинах вышеуказанный эффект не наблюдается и не является достижимым из-за относительно высокого коэффициента поверхностного трения между микрочастицами указанных глинистых минералов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондаренко Н.Ф.* Физика движения подземных вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 215 с.
2. *Брилинг И.А.* Фильтрация в глинистых породах / Обзорная информация. Серия «Гидрогеология и инженерная геология». М.: ВИЭМС, 1984. 60 с.
3. *Габибов Ф.Г., Кульчицкий Л.И.* Исследование природы начального градиента фильтрации в глинистых грунтах // Труды 1-го Центрально-Азиатского геотехнического симпозиума. Астана, 2000. Т. 1. С. 367–368.
4. *Гольдберг В.М., Скворцов Н.П.* Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. 160 с.
5. *Дерягин Б.В., Зорин З.М., Соболев В.Д., Чураев Н.В.* Свойства тонких слоев воды вблизи твердых поверхностей // Связанная вода в дисперсных системах. Иркутск: Изд-во ИГУ, 1980. С. 4–13.
6. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Муллер В.М.* Поверхностные силы. М.: Наука, 1987. 398 с.
7. *Калинко М.К.* Методика исследования коллекторных свойств кернов. М.: Гостоптехиздат, 1973. 224 с.
8. *Кульчицкий Л.И., Габибов Ф.Г., Ткаченко Ю.Г.* Определение проницаемости глин // Разведка и охрана недр. 1986. № 10. С. 54–58.
9. *Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г.* Физико-химические основы формирования свойств глинистых пород. М.: Недра, 1981. 180 с.
10. *Кульчицкий Л.И., Усьяров О.Г., Габибов Ф.Г.* Физико-химическая модель водонасыщенной глины и ее применение при изучении объемных деформаций глинистых грунтов. Баку: Изд-во АзНИИСА, 2000. 41 с.
11. *Павилонский В.М.* К вопросу о начальном градиенте в глинистых грунтах // Труды ВОДГЕО. М.: 1986. Вып. 19. С. 26–31.
12. *Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С.* и др. Грунтоведение. М.: Изд-во Московского университета, 1971. 596 с.
13. *Mitchell A.K., Younger J.S.* Permeability and capillarity of soils / ASTM STP 417. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1967. P. 106–139.

ООО
«Гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии»

Инженерно-геологические, инженерно-геодезические и инженерно-экологические изыскания для строительства объектов I и II уровня ответственности.

Исследования по оценке фонового состояния природной среды и разработка программ экологического мониторинга объектов добывающей и перерабатывающей промышленности.

Оценка гидрогеологических, инженерно-геологических и геоэкологических условий разработки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

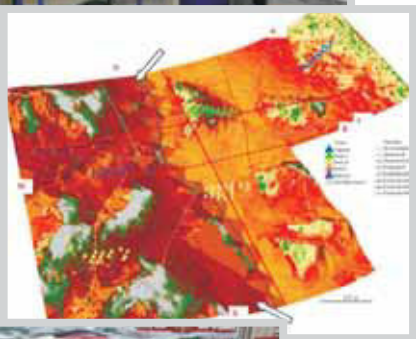
Оценка геологических, социальных и экономических рисков.

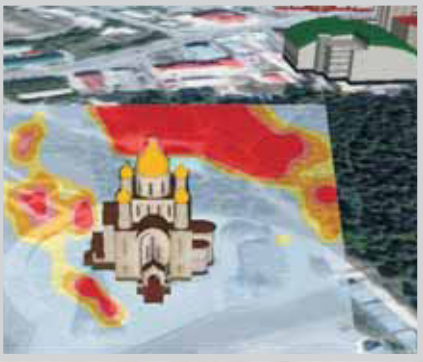
Комплексные гидрогеологические, инженерно-геологические, инженерно-экологические исследования и съемки в масштабах 1:200000-1:2000.

Разработка инженерно-геологических, гидрогеологических, геомеханических и геоэкологических баз данных в геоинформационных форматах для городских агломераций, производственных объектов всех уровней ответственности, горнотехнических сооружений открытого и подземного типов, транспортных тоннелей и др.

Геофизические исследования на дневной поверхности, в скважинах и в подземных выработках с целью оценки и контроля изменения структуры, свойств, геодинамического и физико-механического состояний горного массива на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации сооружений различных типов.

Определение физико-механических свойств горных пород.





Лаборатория скальных грунтов ООО “ГИНГЕО” выполняет определение полного комплекса лабораторных исследований физико-механических свойств скальных и полускальных пород, в том числе:

- естественной влажности;
- водонасыщения;
- водопоглащения;
- плотности, плотности сухого грунта, плотности минеральной части;
- прочности на одноосное сжатие;
- прочности на одноосное растяжение;
- угла внутреннего трения;
- удельного сцепления;
- скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн;
- статического и динамического коэффициента Пуассона;
- статического и динамического модуля деформации.

Исследования проводятся на оборудовании: испытательный пресс ПГМ-500МГ4, приборы неразрушающего контроля (импульсный ультразвуковой низкочастотный дефектоскоп А1220 «Монолит», скелерометр ИСП-МГ4.01). Все приборы для определения свойств и исследований скальных и полускальных грунтов имеют сертификаты соответствия и действующие поверки, выданные компетентными органами.

620012 г. Екатеринбург, ул. Кузнецова, д. 21,оф. 116 Телефон 8-922-20-21-788; e-mail: GINGEO@mail.ru

Реклама

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОМ РАЙОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИЙ

PREDICTION OF GEOLOGICAL ENGINEERING CONDITIONS BY SINKHOLE ZONING

СЕРЕДИН В.В.
Заведующий кафедрой инженерной геологии Пермского государственного университета, д.г.-м.н., профессор, nedra@nedra.perm.ru
ГАЛКИН В.И.
Заведующий кафедрой геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета, д.г.-м.н., профессор, Vgalkin@pstu.ru
РАСТЕГАЕВ А.В.
Профессор кафедры геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета, д.г.-м.н.
ЛЕЙБОВИЧ Л.О.
Директор департамента экологии научно-исследовательского, проектного и производственного предприятия по природоохранной деятельности «Недра», к.т.н., leibovich@nedra.perm.ru
ПУШКАРЕВА М.В.
Профессор кафедры охраны окружающей среды Пермского национального исследовательского политехнического университета, д.м.н., pushkareva@nedra.perm.ru

SEREDIN V.V.
The head of the department of geological engineering of Perm State University, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, nedra@nedra.perm.ru
GALKIN V.I.
The head of the department of oil-and-gas geology of Perm National Research Polytechnic University, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, Vgalkin@pstu.ru
RASTYEGAEV A.V.
A professor of the department of oil-and-gas geology of Perm National Research Polytechnic University, doctor of geological-mineralogical sciences
LEIBOVICH L.O.
The director of the ecology department of the Research, Design and Production Enterprise for Nature Conservation Activity «Nedra», candidate of technical sciences, leibovich@nedra.perm.ru
PUSHKAREVA M.V.
A professor of the department of environmental protection of Perm National Research Polytechnic University, doctor of medical sciences, pushkareva@nedra.perm.ru

Ключевые слова:
карстовая опасность; классификационный показатель; сульфатный карст; карстовая воронка; геологические признаки; карстологическое районирование; устойчивость территории; прогноз; плотность карстовой воронки; интенсивность образования карстовых провалов; категория устойчивости территории.
Key words:
karst hazard; classification index; sulfate karst; sinkhole; geological characteristics; sinkhole zoning; area stability; prediction; sinkhole density; sinkhole formation intensity; area stability category.

Аннотация

Разработан способ прогноза классификационного показателя карстовой опасности для точек опробования, в которых он не может быть получен экспериментальным путем. На одной из территорий Пермского края, где развит сульфатный карст, проведена апробация предложенного способа. Полученные результаты позволили выполнить прогноз значений плотности карстовых воронок, по которым была рассчитана интенсивность образования карстовых провалов и определена категория устойчивости исследуемой территории.

Abstract

A prediction method of the karst hazard classification index for investigation points where it can not be determined experimentally was developed. In a sulfate karst area in the Perm Region this method was tried out. The obtained results permitted to predict the sinkhole density values that were used for calculating the sinkhole formation intensity and determining the stability category of the investigated area.

Введение

Значительная часть территории РФ характеризуется распространением карстующихся пород. Присутствие их в геологическом разрезе вызывает дополнительные проблемы при освоении территорий, особенно при выборе мест под застройку, а также в значительной степени усложняет условия строительства и эксплуатации хозяйственных объектов. При принятии управленческих решений очень важно иметь информацию по карстовой опасности территории, которая может быть представлена в виде карт районирования. В настоящее время разработан ряд методов районирования [1–3], в которых предполагается, что информация по классификационному показателю карстовой опасности известна в каждой точке исследования. Однако это предположение не всегда реализуемо на практике, что значительно снижает надежность и достоверность карт районирования. Поэтому задачей данной работы является разработка метода прогноза классификационного показателя в тех точках, в которых он не был получен прямым (экспериментальным) путем.

Методика выполнения прогноза классификационного показателя карстовой опасности

Предлагаемая методика выполнения прогноза классификационного показателя карстовой опасности включает следующие ***этапы***.

1. *Изучаемая территория разбивается на подобласти, в которых производятся исследования.*

При этом каждая подобласть должна иметь одинаковые площади ($S_1 = S_2 = ... = S_n$) и одинаковую плотность точек опробования ($n_1 = n_2 = ... = n_n$).

2. *Производится группировка подобластей.* В первую группу входят данные тех подобластей, в которых экспериментально определены классификационный показатель и геологические признаки. Во вторую — данные тех подобластей, в которых установлены только геологические признаки.

3. *По экспериментальным данным первой группы строятся поля корреляции (диаграммы рассеивания) между классификационным показателем и каждым из геологических признаков*, которые позволяют:

- произвести первичную оценку (выбраковку) тех геологических признаков, которые не оказывают влияния на формирование классификационного показателя;
- определить граничные значения, в пределах которых установлено влияние геологического признака на формирование классификационного показателя;
- сформировать на основании граничных значений геологических признаков выборочные совокупности, которые будут использоваться при дальнейших расчетах.

4. *Рассчитываются коэффициенты парной корреляции (r) между классификационным показателем и каждым из геологических признаков по ранее полученным выборкам.* Расчетные коэффициенты корреляции (r_p) сравниваются с табличными (r_m). Те геологические признаки, которые имеют $r_p < r_m$, также исключаются (выбраковываются на втором шаге) из дальнейших исследований. После чего оставшиеся геологические признаки ранжируются по убыванию значений r_p. Чем меньше r_p, тем меньшее влияние оказывает этот геологический признак на формирование классификационного показателя.

5. *Рассчитывается классификационный показатель по уравнению множественной регрессии*, где в качестве факторных признаков выступают оставшиеся после отбраковки геологические признаки. В общем виде такое уравнение имеет следующий вид:

$$Y = A + K_1X_1 + K_2X_2 + K_3X_3 + ... + K_nX_n, \quad (1)$$

где Y — классификационный показатель; A — свободный член; K_1, K_2, K_3, K_n — угловые коэффициенты; X_1, X_2, X_3, X_n — геологические признаки.

6. *Проводится проверка адекватности полученной математической модели по критерию Стьюдента t.*

7. *Производится оценка классификационного признака в тех подобластях, где он не был получен экспериментальным методом.*

Апробация предложенного метода

Апробация предложенного метода производилась на территории Пермского края, где развит сульфатный карст. На исследуемой территории общей площадью 7,5 км^2 планируется строительство промышленных и гражданских сооружений, поэтому для принятия оптимальных проектных решений необходима информация о карстовой опасности.

В качестве показателя, характеризующего карстовую опасность для сооружений, была принята интенсивность образования карстовых провалов:

$$\lambda = n / s \cdot t, \quad (2)$$

где λ — среднегодовое количество карстовых провалов, отнесенное к единице площади (случай/км^2 · год); n — количество карстовых воронок на изучаемой площади; s — площадь закарстованной территории; t — длительность периода образования карстовых воронок.

Выбор этого показателя обусловлен тем, что наличие и величина карстовых воронок напрямую определяют устойчивость сооружения. Все остальные геологические признаки оказывают опосредованное влияние. Кроме того, этот критерий нормирован частью 2 СП 11-105-97 [4], определяет категорию устойчивости территории (табл. 1) и принят в качестве классификационного показателя при инженерно-геологическом районировании.

Анализ уравнения (2) показал, что при расчете интенсивности образования карстовых провалов наиболее трудоемким является процесс определения плотности карстовых воронок ρ (количества карстовых форм, в среднем приходящегося на единицу площади, случай/км^2):

$$\rho = n / s. \quad (3)$$

Результаты апробации предложенного метода и их обсуждение

Исследуемую территорию разбили на 30 подобластей, имеющих одинаковую площадь: $S_1 = S_2 = ... = S_{24} = 0{,}25$ км^2. В пределах данной территории было пройдено 128 горных выработок, количество которых в различных подобластях варьировало от 3

Таблица 1

Категории устойчивости территорий относительно интенсивности провалообразования (среднегодового количества карстовых провалов на 1 км^2)

Категория устойчивости территории	Описание территории	Интенсивность провалообразования (случай/км^2·год)
I	Очень неустойчивая	> 1,00
II	Неустойчивая	0,10–1,00
III	Недостаточно устойчивая	0,05–0,10
IV	Несколько пониженной устойчивости	0,01–0,05
V	Относительно устойчивая	< 0,01
VI	Устойчивая	Провалообразование исключается

до 8. Для выравнивания плотности точек исследования данные усреднялись, и в расчетах участвовали средние величины (т.е. $n_1 = n_2 = ... = n_{30} = 1$).

Для всех 30 подобластей имелась ***информация по следующим геологическим признакам***:

1) *для толщи карстующихся грунтов:*
- глубина залегания кровли ($H_к$);
- глубина залегания подошвы ($H_{к1}$);
- мощность ($M_к$);
- абсолютная отметка кровли ($AO_к$);
- абсолютная отметка подошвы ($AO_{к1}$);

2) *для зоны дробления:*
- глубина залегания кровли (H_d);
- глубина залегания подошвы (H_{d1});
- мощность (M_d);
- абсолютная отметка кровли (AO_d);
- абсолютная отметка подошвы (AO_{d1});

3) *для встреченного уровня четвертичного водоносного горизонта:*
- глубина (H_b);
- абсолютная отметка (AO_b);

4) *для установившегося уровня четвертичного водоносного горизонта:*
- глубина (H_{b1});
- абсолютная отметка (AO_{b1});

5) *для встреченного уровня иренского водоносного горизонта:*
- глубина (H_i);
- абсолютная отметка (AO_i);

6) *для установившегося уровня иренского водоносного горизонта:*
- глубина (H_{i1});
- абсолютная отметка (AO_{i1});

7) *минерализация вод* (*Min*);

8) *мощность аллювиальных отложений* (M_{al});

9) *мощность неогеновых отложений* (M_n);

10) *для соликамских отложений*:
- глубина (H_s);
- мощность (M_s).

В 24 подобластях было задокументировано 1027 карстовых воронок, по которым был рассчитан показатель ρ. В 6 подобластях карстологические исследования не проводились. На основании полевых и лабораторных исследований была составлена таблица исходных данных, в которой по горизонтали представлены значения плотности карстовых воронок (ρ) и геологических признаков, а по вертикали – номер подобласти. При этом вся первичная информация разделена на две группы. В первую группу вошли данные 24 подобластей, в которых определены ρ и геологические признаки. Во вторую — данные 6 подобластей, в которых установлены только геологические признаки. По данным первой группы построены ***поля корреляции (диаграммы рассеивания) между ρ и каждым геологическим признаком***. Эти диаграммы позволяют решать, по крайней мере, ***три задачи***. Рассмотрим их.

1. *Оценка (выбраковка) тех геологических признаков, которые не оказывают влияния на формирование плотности карстовых воронок ρ*. Если между ρ и геологическим признаком наблюдается прямая или обратная зависимость, считаем, что этот признак оказывает влияние на формирование карстовых воронок.

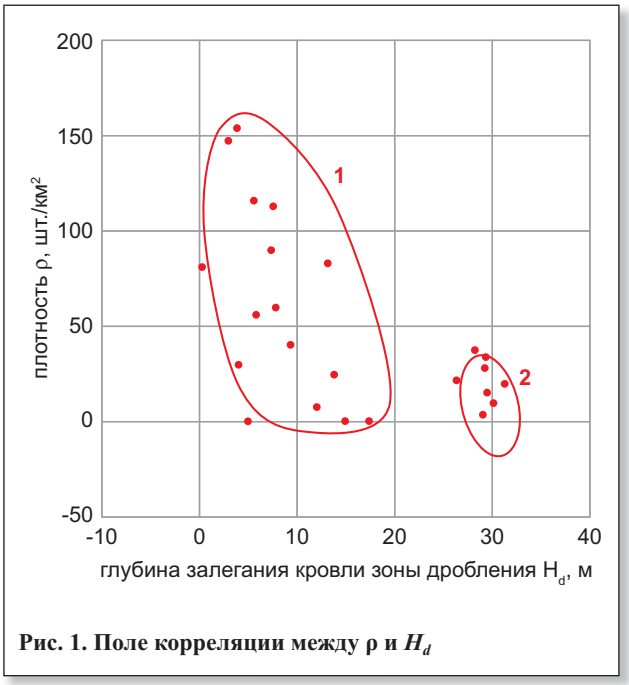


Рис. 1. Поле корреляции между ρ и H_d

На рисунке 1 приведено поле корреляции между ρ и глубиной залегания кровли зоны дробления H_d. Из него видно, что с увеличением H_d (подполе 1) количество карстовых проявлений на земной поверхности уменьшается.

На рисунке 2 приведены поля корреляции между абсолютными отметками подошвы карстующихся грунтов $AO_{к1}$ и показателем ρ. Из него видно, что взаимосвязи между исследуемыми признаками установить не удалось, поэтому определить влияние $AO_{к1}$ на формирование ρ достаточно сложно.

На основании результатов использования данного подхода из дальнейших исследований были исключены следующие геологические признаки: AO_K, AO_{K1}, M_K, AO_d, AO_{d1}, M_d, H_i, AO_i, H_{i1}, *Min*, M_n, H_s.

2. *Определение граничных значений, в пределах которых установлено влияние геологического признака на формирование плотности карстовых воронок ρ*. В методическом плане решение этой задачи сводится к оценке распределения точек наблюдений, т.е. к оценке того, с чем мы будем работать — с одним геологическим телом или с несколькими (с одной генеральной совокупностью или с несколькими).

Из рисунка 1 видно, что в пределах поля корреляции между ρ и H_d выделяются два практически независимых друг от друга подполя. В подполе 1 наблюдается обратная корреляционная связь между ρ и H_d. Граничные значения, в пределах которых установлено влияние геологического признака на формирование ρ, составляют от 0 до 20 м. Это свидетельствует о том, что при глубине залегания кровли зоны дробления до 20 м наблюдается влияние данного показателя на ρ. При глубине более 20 м выявить влияние не удалось. Подполе 2, где корреляция отсутствует, использоваться далее не будет.

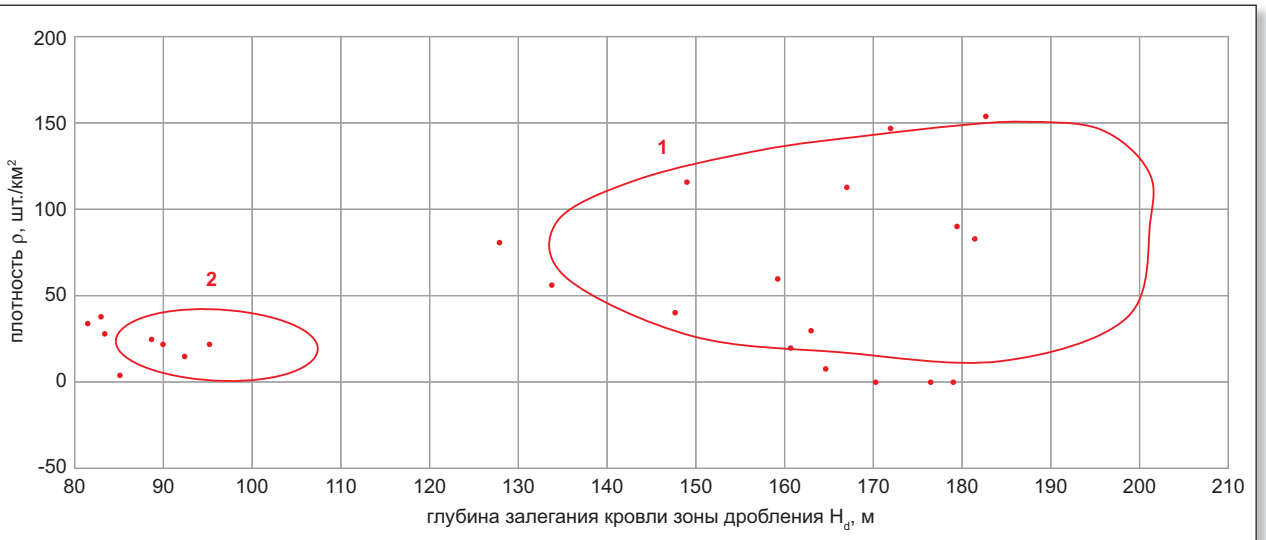


Рис. 2. Поле корреляции между ρ и A_{ok1}

3. *Формирование выборочных совокупностей, которые можно использовать при математическом моделировании*. Практически эта задача реализуется следующим образом: экспериментальные данные, которые находятся за пределами граничных значений, исключаются, а из оставшихся данных формируется выборочная совокупность. Исходя из информации, приведенной на рис. 1, в формировании выборочной совокупности H_d использовали данные, не превышающие 20 м.

На основании диаграмм рассеивания был произведен ***выбор геологических признаков, оказывающих наибольшее влияние на формирование карстовых воронок***. Определяли граничные значения геологических признаков, в пределах которых влияние является наибольшим (табл. 2).

Таблица 2

Граничные значения геологических признаков		
Геологические признаки	**Граничные значения**	
	от	**до**
$H_к$, м	0	15
$Hк_1$, м	9	40
H_d, м	0	17
H_{d1}, м	0	20
M_{a1}, м	0	10
M_s, м	0	13

С учетом полученных результатов была составлена матрица исходных данных для дальнейших математических расчетов.

Следует отметить, что в вышеизложенном подходе решение об отбраковке геологических признаков основывается на субъективном подходе исследователя. Этот метод часто работает достаточно надежно, но в некоторых случаях, когда нет четкой взаимосвязи между исследуемыми признаками, он дает сбои.

Авторами был использован корреляционный метод, рассчитаны коэффициенты парной корреляции r между ρ и каждым геологическим признаком.

Расчетные (r_p) коэффициенты корреляции сравнивали с табличными (r_m). Те геологические признаки, которые имели $r_p < r_m$, исключали (выбраковывали) из дальнейших исследований. После чего оставшиеся геологические признаки ранжировали по убыванию r_p.

Влияние исследуемых геологических признаков на ρ оценивали с помощью вычисления коэф-

Таблица 3

Коэффициенты парной корреляции между признаками							
Геологический признак	**ρ**	**$H_к$**	**$H_{к1}$**	**H_d**	**H_{d1}**	**M_{a1}**	**M_s**
ρ	1,00	–0,52*	–0,41	–0,50*	–0,44*	–0,54*	–0,29
$H_к$,	-	1,00	0,71*	0,97*	0,96*	0,17	0,90*
$Hк_1$	-	-	1,00	0,73*	0,80*	0,20	0,57*
H_d	-	-	-	1,00	0,98*	0,25	0,84*
H_{d1}	-	-	-	-	1,00	0,17	0,86
M_{a1}	-	-	-	-	-	1,00	–0,26
M_s	-	-	-	-	-	-	1,00

* Значимый коэффициент корреляции составляет 0,44.

фициента корреляции r. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Корреляционный анализ показал, что наибольшее влияние на ρ оказывают: M_{al} (r = –0,54), $H_к$ (r = –0,52) и H_d (r = –0,50). Другие геологические признаки не имеют статистически значимых связей с ρ.

Рассмотрим, ***какими геологическими процессами обусловлено наличие или отсутствие значимых корреляционных связей между ρ и исследуемыми геологическими признаками***.

В классическом виде карстовые провалы (воронки) на земной поверхности формируются в два этапа. На **первом этапе** происходит образование карстовых полостей в грунтовом массиве. Необходимым условием для этого являются наличие карстующихся грунтов и агрессивной к ним жидкости и движение (разгрузка) этой жидкости. На **втором этапе** происходит деформация кровли карстовых полостей с образованием на земной поверхности карстовых воронок.

Рассмотрим ***влияние исследуемых геологических признаков на формирование карстовых воронок***.

1. *Мощность аллювиальных отложений M_{al} (r = –0,54).* Четвертичные отложения представлены суглинками. Действительно, питание водоносных горизонтов осуществляется, в частности, и за счет инфильтрационных вод. Поэтому чем мощнее пачка глинистых грунтов, перекрывающих карстующиеся породы, тем меньше вероятность образования карстовых полостей в грунтовом массиве и, как следствие, тем меньше вероятность формирования карстовых воронок на земной поверхности. В нашем случае установлено влияние M_{al} на ρ при мощности аллювиальных отложений до 10 м.

2. *Глубина залегания карстующихся грунтов $H_к$ (r = –0,52).* Геологический смысл этого признака заключается в том, что чем глубже залегают карстующиеся грунты, тем меньше вероятность появления карстовых воронок на земной поверхности. В рассматриваемом случае при глубине залегания карстующихся грунтов до 15 м этот признак влияет на формирование карстовых воронок, а при $H_к$ > 15 м такое влияние установить не удалось.

3. *Глубина залегания кровли зоны дробления H_d (r = –0,50).* Под зоной дробления здесь понимается часть геологического тела, сформированного за счет обрушения карстовых полостей. Отсюда, чем выше к земной поверхности расположена кровля зоны дробления, тем большее влияние она оказывает на формирование карстовых воронок. В данных геологических условиях при глубине залегания кровли зоны дробления H_d до 17 м этот признак оказывает влияние на образование карстовых воронок, а при H_d > 17 м такое влияние установить не удалось (см. рис. 1).

Другие геологические признаки оказывают меньшее влияние на формирование карстовых воронок. Например, такой геологический признак, как мощность карбонатно-терригенных отложений соликамского горизонта (M_s), статистически не связан с критерием ρ, о чем свидетельствуют незначимые коэффициенты корреляции (r = –0,29). С геологической точки зрения это обусловлено тем, что данный горизонт залегает на глубинах от 70 до 150 м. Карстовые полости, которые находятся в этом горизонте, не проецируются на земную поверхность, поэтому не удалось установить степень влияния M_s на ρ.

С помощью значений коэффициентов корреляции было выполнено уточнение и ранжирование ведущих геологических признаков, оказывающих влияние на формирование карстовых воронок на земной поверхности. Эти геологические признаки не противоречат теории формирования карстовых провалов (воронок).

Разработка математической модели

Для прогноза значений показателя ρ использовался ***пошаговый многомерный регрессионный анализ***. Результаты расчетов можно представить в виде уравнения множественной регрессии, где в качестве результативного признака выступает показатель ρ, а в качестве факторных — геологические признаки:

$$\rho_m = 124{,}82 - 0{,}47M_{al} - 0{,}44H_k, \qquad (4)$$

при коэффициенте множественной корреляции R = 0,70.

При расчете на первом шаге в модель был включен такой геологический признак, как мощность аллювиальных отложений M_{al}. Коэффициент множественной корреляции R составил 0,54. На втором шаге был включен показатель, характеризующий глубину залегания кровли карстующихся грунтов $H_к$ при R = 0,70.

Как видно из уравнения регрессии (4), в него вошли не все используемые показатели, а только наиболее информативные.

Проверка адекватности полученной математической модели была выполнена путем сопоставления средних значений ρ для выборок, полученных экспериментальным путем и вычисленных по уравнению регрессии. Сущность этого подхода сводится к тому, что если средние значения близки между собой и $t_p < t_m$, то уравнением регрессии можно пользоваться на практике. Близость средних значений оценивается критерием Стьюдента t.

Результаты вычислений показали, что расчетное значение критерия Стьюдента t_p при α = 0,05 составляет 0,41, а табличное t_m равно 2,05, т.е. $t_p < t_m$, поэтому полученную математическую модель можно использовать при прогнозе значений ρ в тех подобластях, где отсутствуют экспериментальные данные. На основе полученного уравнения связи была произведена оценка плотности карстовых воронок ρ в тех подобластях, где она не была определена экспериментальным методом.

Таблица 4

Теоретические значения плотности карстовых воронок (ρ) и интенсивности образования карстовых провалов (λ)

№ подобласти	Значения геологических признаков, м		ρ	λ
	M_{al}	H_k		
25	1,4	3,1	123	1,23
26	2,2	4,1	122	1,22
27	1,8	3,5	122	1,22
28	2,8	6,7	120	1,20
29	3,1	4,5	121	1,21
30	1,9	3,5	122	1,22

На основании ρ была рассчитана интенсивность образования карстовых провалов с учетом периода их образования для исследуемой территории (100 лет). По величине интенсивности образования карстовых провалов была определена категория устойчивости данной территории (табл. 4). Было установлено, что изучаемые подобласти (25–30) относятся к I категории, т.е. являются очень неустойчивыми территориями (см. табл. 1), на которых не рекомендуется строительство зданий и сооружений.

Выводы

1. Разработана математическая модель прогноза значений классификационного показателя карстовой опасности для тех подобластей (точек исследования), где он не может быть получен экспериментальным путем.

2. Предлагаемый способ прогноза апробирован при оценке плотности карстовых воронок на территории с развитым сульфатным карстом. Получены положительные результаты, что дает основания рекомендовать его для инженерно-геологического районирования территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарик Г.К., Пендин В.В.* Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инженерная геология. 1982. № 4. С. 82–89.
2. *Пендин В.В., Ганова С.Д.* Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. 236 с.
3. *Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Бахарева Н.С.* Методика инженерно-геологического районирования на основе балльной оценки классификационного признака // Инженерная геология. 2011. № 3. С. 20–25.
4. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 2: Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000.

ГЕОТЕХНИКА

Международный журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Цель журнала — знакомство российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2012 году:
6 номеров

Стоимость годовой подписки:
3900 рублей

info@geomark.ru

Реклама

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ГОРОДЕ ХАНОЙ (ВЬЕТНАМ)

ASSESSMENT AND PROGNOSTICATION OF LAND SUBSIDENCE CAUSED BY GROUNDWATER EXPLOITATION IN HANOI (VIETNAM)

ТХИНЬ Ф.Х.
Аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Томского политехнического университета, г. Томск, Россия
СТРОКОВА Л.А.
Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов Томского политехнического университета, к.г.-м.н., г. Томск, Россия, strokova@sibmail.com
МИНЬ Н.Н.
Мастер Ханойской акционерной консалтингово-испытательной компании транспортного строительства № 1, г. Ханой, Вьетнам

THINH P.H.
A postgraduate student of the hydrogeology, engineering geology and hydrogeoecology department of the Institute of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
STROKOVA L.A.
An associate professor of the hydrogeology, engineering geology and hydrogeoecology department of the Institute of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University, candidate of geological-mineralogical sciences, Tomsk, Russia
MINH N.N.
A master of the Hanoi Transport Engineering Consultant and Testing Joint Stock Company № 1

Ключевые слова:
Ханой; Вьетнам; оседание поверхности; осадка; извлечение подземных вод; напряженно-деформированное состояние; моделирование.

Key words:
Hanoi; Vietnam; surface subsidence; settlement; groundwater pumping; deflected mode; modeling.

Аннотация

в статье представлены результаты исследований прогрессирующих оседаний земной поверхности, вызванных консолидацией сжимаемых водоносных слоев в результате все увеличивающегося извлечения подземных вод в городе Ханое (Вьетнам). Эти исследования включали моделирование развития величин осадок во времени. Вычисленные осадки удовлетворительно коррелировали с данными натурных наблюдений. Авторы указывают на серьезность исследуемой проблемы и необходимость продолжения исследований в этой области на территории г. Ханоя.

Abstract

the article presents the research results of progressing surface subsidence caused by consolidation of compressible aquiferous deposits as a result of increasing groundwater pumping in Hanoi (Vietnam). Those investigations included modeling of settlement development depending on time. The calculated settlements satisfactorily correlate with the data of field observations. The authors point out seriousness of the problem and necessity of continuing those investigations in the territory of Hanoi.

В последние десятилетия оседание земной поверхности, связанное с интенсивным забором подземных вод, стало широко распространенным явлением. Например, в гавани Лонг-Бич (близ г. Лос-Анджелеса, США) его величина составила 9 м, в долине Сан-Хоакин (Калифорния, США) — 8,5 м, в Мехико — 8 м, в Токио — 4 м. В меньшей степени оседание зарегистрировано во многих других городах — Осаке и Ниигате (Япония), Венеции (Италия), Таллине (Эстония), Лондоне (Великобритания), Ханое (Вьетнам) и др.

Вопросам оседания поверхности земли, связанного с интенсивным забором подземных вод, посвящены многие работы [3, 2, 5, 9 и др.]. Целью настоящей статьи были оценка и анализ такого оседания на территории города Ханоя (Вьетнам). Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: (1) выявить факторы, определяющие развитие осадок; (2) выяснить и изучить причины массовых деформаций на участках с различными типами состава, строения, состояния и свойств грунтовых толщ; (3) сделать прогноз оседания поверхности на ближайшие годы в связи с увеличивающимся водоотбором.

Для предварительной оценки и анализа оседания поверхности на территории г. Ханоя была использована программа TZP, разработанная П.Х. Жао (P.H. Giao) [2], при сочетании применения двухмерной модели движения подземных вод и одномерной модели консолидации на базе метода конечных элементов.

Специфической особенностью разреза территории г. Ханоя является наличие мощной толщи четвертичных отложений различного генезиса и возраста (от плейстоцена до позднего голоцена), характеризующихся различным гранулометрическим составом — от галечников до тяжелых глин [1, 4, 10]. В разрезе четвер-

тичных отложений выделяют пять свит, различающихся по возрасту и генезису (снизу вверх):

- раннеплейстоценовую (свиту Лэчи — *a*I*lc*) мощностью 3–25 м, сложенную аллювиальными грунтами, представленными гальками, гравием, линзами песков, супесей или суглинков;
- средне-позднеплейстоценовую (свиту Ханой — *a,ap*II–III^{1}*hn*) мощностью 10–34 м, сложенную аллювиальными и аллювиально-пролювиальными грунтами, представленными гальками, гравием и песками, местами суглинками и супесями, развитыми в верхней части разреза;
- позднеплейстоценовую (свиту Виньфук — *a,l,lb*III^{2}*vp*$_{1,2,3}$) мощностью 6–38 м, представленную аллювиальными, озерными и озерно-болотными отложениями с определенными закономерностями перехода от песков в нижней части разреза к суглинкам и глинам в верхней (местами также прослеживаются суглинки с органическими остатками);
- ранне-среднеголоценовую (свиту Хайхынг — *lb,m,b*IV$^{1-2}$*hh*$_{1,2,3}$) мощностью 1–20 м, состоящую из озерно-болотных, морских и болотных отложений, относящихся к специфическим слабым водонасыщенным грунтам и представленных суглинками и глинами с органическими остатками в основании разреза, постепенно сменяющимися морскими глинами синего цвета;
- позднеголоценовую (свиту Тхайбинь — *a,alb*IV^{3}*tb*$_{1,2}$) мощностью 1–26 м, представленную аллювиальными и аллювиально-озерно-болотными отложениями, имеющими широкое распространение и характеризующимися постепенным переходом от песков к супесям и суглинкам, местами с включениями органических остатков.

В пределах глубины градостроительного освоения г. Ханоя зафиксировано наличие двух водоносных горизонтов. В верхней части разреза современных аллювиальных отложений (*a*IV^{3}*tb*$_{1,2}$), представленных водонасыщенными песками, местами с гравием, прослеживается голоценовый водоносный горизонт (*qh*). Коэффициент его водопроводимости изменяется от 20 до 790, чаще от 200 до 400 м^2/сут. Положение статического уровня этого горизонта зависит от интенсивности атмосферных осадков и уровня воды в р. Красной и изменяется в пределах 1–5 м от поверхности земли в течение года.

Повсеместное распространение на территории города имеет плейстоценовый слабонапорный водоносный горизонт (*qp*), водовмещающими породами которого являются крупнообломочные образования (галька и гравий) и пески (*a*I*lc*, *a,ap*II–III^{1}*hn* и *a*III^{2}*vp*$_{1}$). Коэффициент водопроводимости этого горизонта составляет от 50 до 2300 м^2/сут, коэффициент фильтрации его грунтов — от 20 до 68 м/сут.

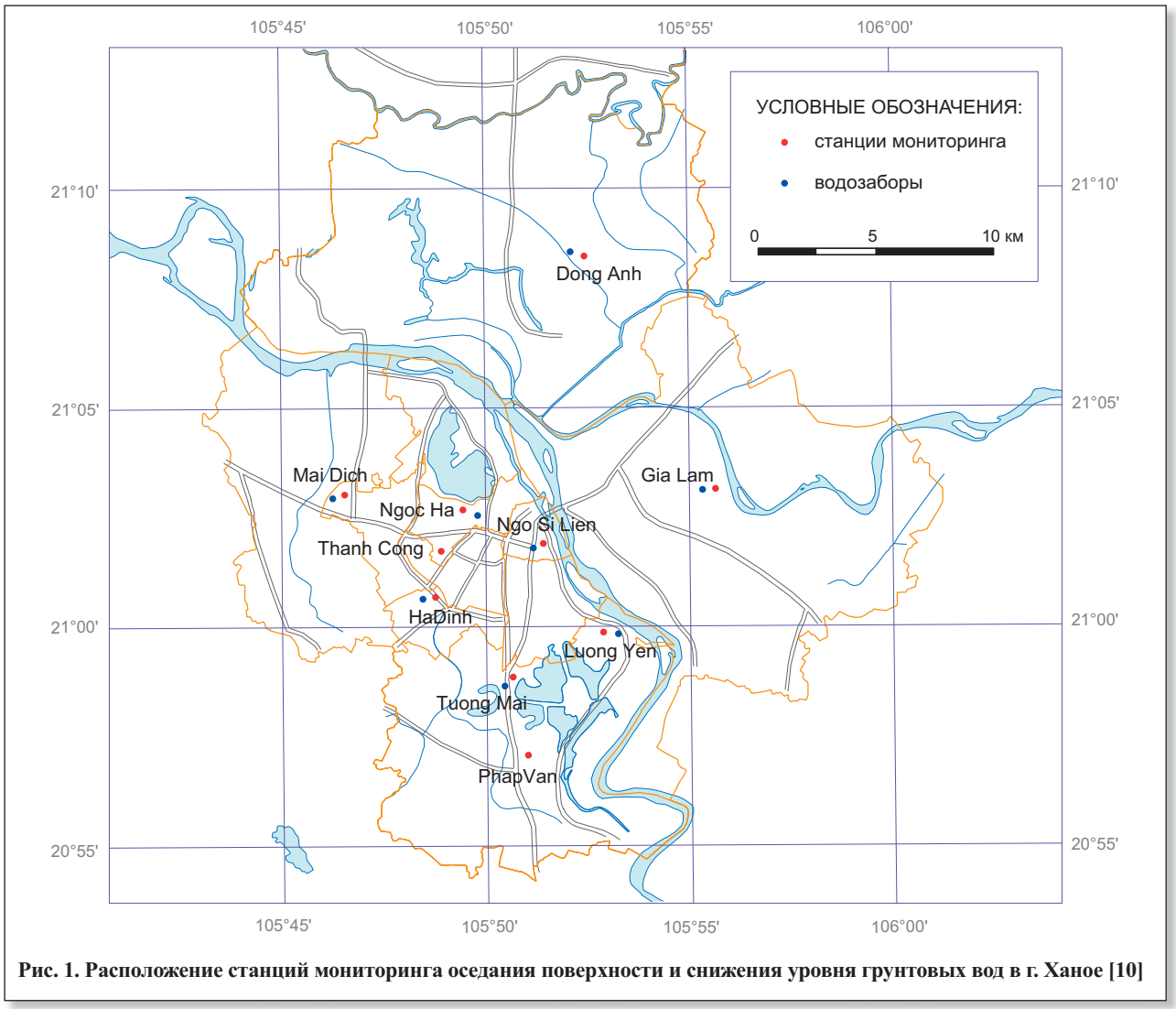


Рис. 1. Расположение станций мониторинга оседания поверхности и снижения уровня грунтовых вод в г. Ханое [10]

Рис. 2. Станция мониторинга оседания поверхности и снижения уровня грунтовых вод «Фапван»

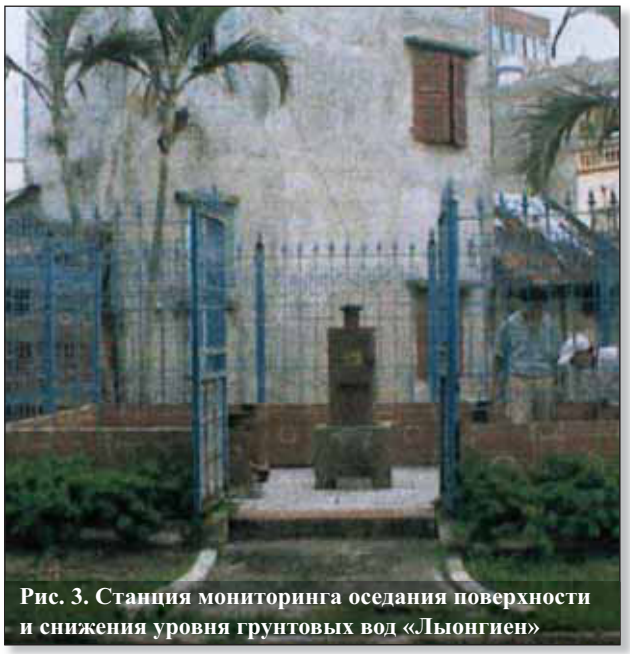


Рис. 3. Станция мониторинга оседания поверхности и снижения уровня грунтовых вод «Лыонгиен»

По данным гидрогеологической службы г. Ханоя [6], в городе действуют три основные формы водозабора подземных вод: общественные, промышленных предприятий и частные.

В г. Ханое действуют 10 крупных и 11 мелких общественных предприятий (станций водоснабжения), занимающихся обеспечением населения водой. Они в общей сложности имеют 164 скважины, пробуренные на плейстоценовый водоносный горизонт, со средней мощностью 668 тыс. м^3/сут (по данным 2008 г.). Для водоснабжения промышленных предприятий в общей сложности действует 513 скважин. Они также пробурены на плейстоценовый водоносный горизонт на глубину от 32 м до 85 м, при средней производительности 152 тыс. м^3/сут (по данным 2008 г.). Частных водозаборных скважин насчитывается около 111 тыс. Их глубина небольшая, они используют голоценовый водоносный горизонт или верхнюю часть плейстоценового и имеют общую производительность 111 тыс. м^3/сут (по данным 2008 г.).

Общая добыча подземных вод в 2008 году составила 931 тыс. м^3/сут. В дальнейшем суточный расход воды увеличится до 950–1050 тыс. м^3/сут к 2015 году и до 1180–1250 тыс. м^3/сут к 2020 году. Большая часть воды забирается из плейстоценового водоносного горизонта (*qp*).

Таблица 1

Данные наблюдений за оседанием поверхности и снижением уровня подземных вод по 10 станциям мониторинга [8]

Станция	Период проведения мониторинга оседания земной поверхности, гг.	Осадка поверхности, мм	Скорость оседания поверхности, мм/год	Период проведения мониторинга уровня подземных вод, гг.	Понижение уровня подземных вод, м	Скорость снижения уровня подземных вод, м/год
Нгокха (Ngoc Ha)	1994–2005	21,65	1,80	1994–2008	4,18	0,28
Фапван (Phap Van)	1996–2005	221,67	22,17	1996–2008	4,66	0,36
Тханьконг (Thanh Cong)	1996–2004	372,80	41,42	1997–2008	10,69	0,89
Хадинь (Ha Dinh)	1997–2004	147,70	18,46	1998–2008	5,32	0,48
Майзич (Mai Dich)	1997–2004	21,18	2,65	1998–2008	6,88	0,63
Лыонгиен (Luong Yen)	1999–2004	96,84	18,46	2000–2008	7,56	0,84
Донган (Dong Anh)	2002–2004	4,22	1,41	2002–2008	1,12	0,16
Нгосильен (Ngo Si Lien)	2002–2004	94,55	31,52	2002–2008	4,12	0,59
Гиа Лам (Gia Lam)	2002–2004	31,00	10,33	2003–2008	1,50	0,25
Танмай (Tuong Mai)	2002–2004	46,02	15,34	2003–2008	5,47	0,91

Мониторинг оседания поверхности и снижения уровня грунтовых вод проводится Ханойским институтом строительства и технологий (HIBT) на 10 наземных станциях. Расположение и внешний вид этих станций показаны на рис. 1–3. В таблице 1 и на рис. 4 приведены данные по снижению уровня грунтовых вод за период с 1994 по 2004 год.

Снижение уровня подземных вод приводит к существенному росту эффективных напряжений, что определяет уплотнение слабых песчано-глинистых пород и деформации земной поверхности, а также развитие дополнительных осадок построенных зданий и подземных сооружений. Например, формирование обширной пьезометрической депрессии на площади до 250 км^2 с максимальным понижением уровня до 32 м за счет откачки подземных вод привело к осадке земной поверхности [6].

Максимальные величины оседаний существенно различаются в отдельных районах города: они составляют, например, 147,7 мм («Хадинь», 1994–2004 гг.),

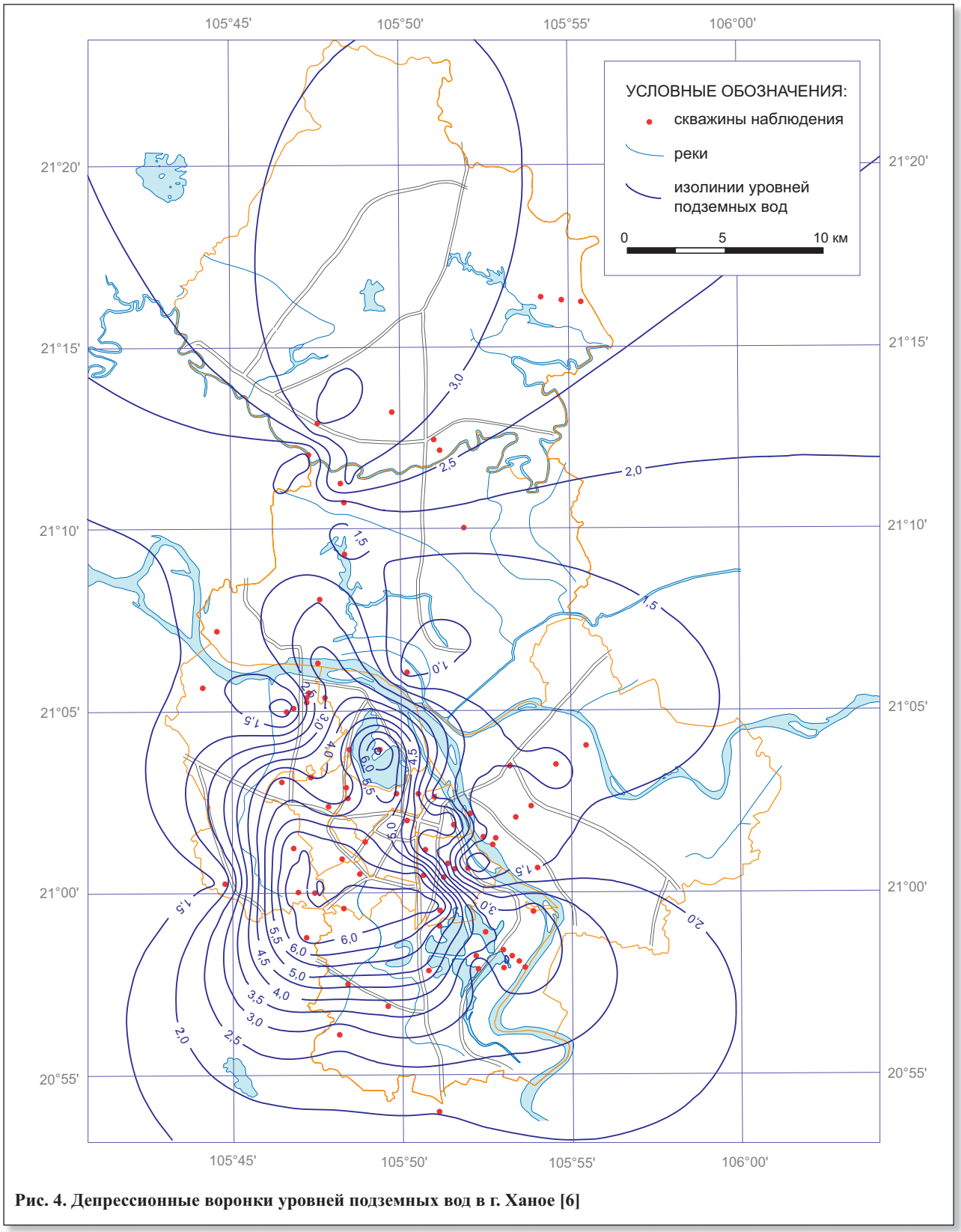


Рис. 4. Депрессионные воронки уровней подземных вод в г. Ханое [6]

Рис. 5. Трещины на стене

Рис. 6. Отрыв ступеней от здания

221,7 мм («Фапван», 1994–2004 гг.) и 372,8 мм («Тханьконг», 1994–2004 гг.), что соответствует величинам водопонижения до 5,3; 4,7 и 10,7 м соответственно.

Величина оседания земной поверхности в большей степени зависит от мощности малолитифицированных сжимаемых озерно-болотных отложений свиты Хайхынг (lbIV$^{1-2}hh_1$). В связи с этим мощность слабых грунтов lbIV$^{1-2}hh_1$ варьирует, например, от 6 до 12 м на участке «Хадинь», от 8 м до 18 м на участке «Тханьконг» и от 6 до 27 м на участке «Фапван».

Длительные и неравномерные осадки характерны для 4–6-этажных зданий, построенных в 70–80-х годах прошлого века на фундаментах неглубокого заложения и иногда на пирамидальных сваях (до 3,6 м) в жилых микрорайонах города, в которых широко развиты слабые водонасыщенные грунты с органическими остатками свиты Хайхынг (lbIV$^{1-2}hh_1$). Величина осадок зданий варьирует от 100 до 400 мм, в отдельных случаях превышает 1200 мм. В качестве примеров можно привести осадки пятиэтажных панельных зданий, построенных в конце 1970-х годов на территории Ханоя в микрорайонах Куньмай, Жангво, Нгокхань, Танмай, Тханьконг и др. (рис. 5–10).

Анализ данных мониторинга оседания поверхности и снижения уровня грунтовых вод позволил сделать следующие выводы:

- с течением времени скорость снижения уровня подземных вод на всех станциях линейно увеличивается;
- на большинстве станций отчетливо фиксируются сезонные изменения уровня подземных вод;

Рис. 7. Расхождение деформационного шва

Рис. 8. Трещина по деформационному шву

Таблица 2

Характеристика грунтов для станции «Тханьконг» [8]

Стр.-ген. комплекс	№ слоя	Тип грунта	Описание	Глубина залегания h, м	Влажность W, %	Плотность γ, кН/м^3	Коэффициент консолидации C_v, м^2/год	Степень переуплотнения OCR	Коэффициент уплотнения CR*	Коэффициент разуплотнения RR**
$t\,Q_{IV}$	1	Техногенный грунт	Насыпной, желтовато-серый, с гидроокислами железа и линзами песка	0–3	30,0	19,0	2,0	7,00	0,30	0,06
Свита Тхайбинь (alIV$^3tb_{1,2}$)	2	Супесь	Твердая, розовато-бурая или коричневато-серая	3–7	31,0	18,7	2,5	3,59	0,12	0,03
Свита Хайхынг (lbIV$^{1-2}hh_1$)	3	Супесь	От пластичной до твердой, голубовато-серая или коричневато-серая	7–23	46,6	16,2	2,6	1,21	0,38	0,05
Свита Виньфук (aIII$^2vp_1$)	4	Песок	Средней плотности, мелкозернистый, серый или желтовато-серый	23–33	-	-	-	-	-	-

* $CR = C_c / (1 + e_0)$, где Cc — коэффициент компрессии, e_0 — коэффициент пористости.
** $RR = C_r / (1 + e_0)$, где C_r — коэффициент рекомпрессии.

- максимальные сжатия слоев грунта по всему разрезу зафиксированы на станции «Тханьконг», в меньшей степени — на станциях «Хадинь», «Фапван», «Лыонгйен»;
- величина оседания земной поверхности зависит от мощности малолитифицированных сжимаемых грунтов.

Для выполнения моделирования оседания поверхности были собраны данные о составе, строении и свойствах грунтов по 18 скважинам и построено 5 опорных разрезов. В строении разреза по линии «Майзич — Хадинь — Фапван» принимают участие следующие стратиграфические комплексы:

- современные техногенные отложения;
- аллювиальные и аллювиально-озерно-болотные отложения свиты Тхайбинь;
- озерно-болотные отложения свиты Хайхынг;
- позднеплейстоценовые аллювиальные, озерные и озерно-болотные отложения свиты Виньфук;
- средне-позднеплейстоценовые аллювиальные и аллювиально-пролювиальные отложения свиты Ханой.

Высокой и неравномерной сжимаемостью обладают мягкопластичные суглинки и супеси свиты Хайхынг. Мощность этого слоя увеличивается с севера на юг и на станции «Нго Си Лянь» достигает 13 м, на станции «Тханьконг» — 15 м, на станции «Хадинь» — 22 м.

Рис. 9. Отрыв пристроенной части

Рис. 10. Неравномерные осадки здания

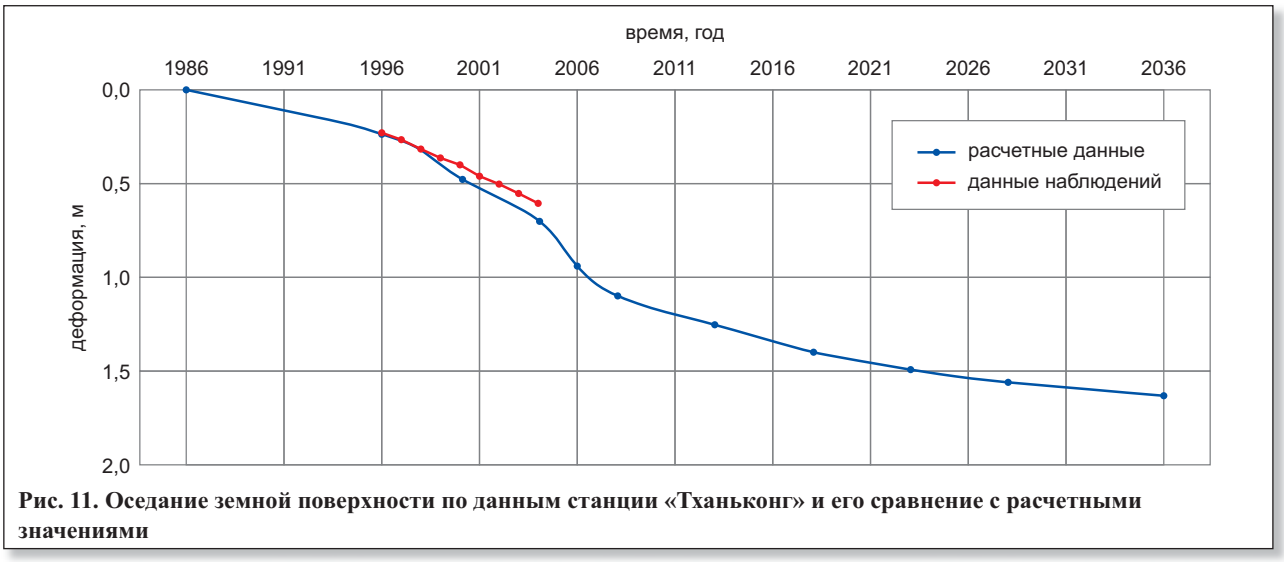


Рис. 11. Оседание земной поверхности по данным станции «Тханьконг» и его сравнение с расчетными значениями

Для прогноза оседания поверхности на ближайшие 25 лет были выбраны два участка — «Тханьконг» и «Хадинь». Для моделирования использовался программный комплекс TZP [2]. Характеристики грунтов, использованные при моделировании, приведены в таблице 2. Слои глинистых грунтов были разбиты на 23 узла и 22 линейных элемента (1 элемент на 1 м). Результаты моделирования показаны на рис. 11 и в табл. 3. Отметим, что для станции «Тханьконг» в качестве точки отсчета был принят 1986 год, когда стали заметны оседания поверхности.

Таблица 3

Расчетные значения понижения уровня подземных вод по данным станции «Тханьконг» на ближайшие 25 лет (в зависимости от добычи подземных вод согласно [7])

Год	1986	1996	2000	2003	2006	2008	2013	2018	2023	2028	2036
Снижение уровня подземных вод, м	0	8,90	12,46	15,13	17,80	19,58	20,41	21,39	21,92	22,25	22,60

Таблица 4

Характеристика грунтов для станции «Тханьконг» [8]

Стр.-ген. комплекс	№ слоя	Тип грунта	Описание	Глубина залегания h, м	Влажность W, %	Плотность γ, кН/м³	Коэффициент консолидации C_v, м²/год	Степень переуплотнения OCR	Коэффициент уплотнения CR*	Коэффициент разуплотнения RR**
$t\,Q_{IV}$	1	Техногенныйгрунт	Насыпной, желтовато-серый, с гидроокислами железа и линзами песка	0–1	30,0	19,0	2,5	5,0	0,15	0,04
Свита Тхайбинь (alIV$^3tb_{1,2}$)	2	Супесь	Твердая, розовато-коричневая или коричневато-серая	1–5	31,0	18,7	2,5	3,59	0,12	0,03
	3	Песок	Средней плотности, тонкозернистый, от коричневато-серого до серовато-черного	5–14	26,0	19,0	5,0	5,0	0,09	0,02
Свита Хайхынг (lbIV$^{1-2}hh_1$)	4	Супесь	От пластичной до твердой, голубовато-серая или коричневато-серая	14–36	46,6	16,2	5,0	1,15	0,38	0,05
Свита Виньфук (aIII$^2vp_1$)	5	Супесь	Твердая, коричневатая или голубовато-серая с крапинками	36–39	26,0	18,6	1,8	2,77	0,10	-
Свита Ханой (a,apII–III^1hn)	6	Гравий	Плотный, серый	39–42	-	-	-	-	-	-

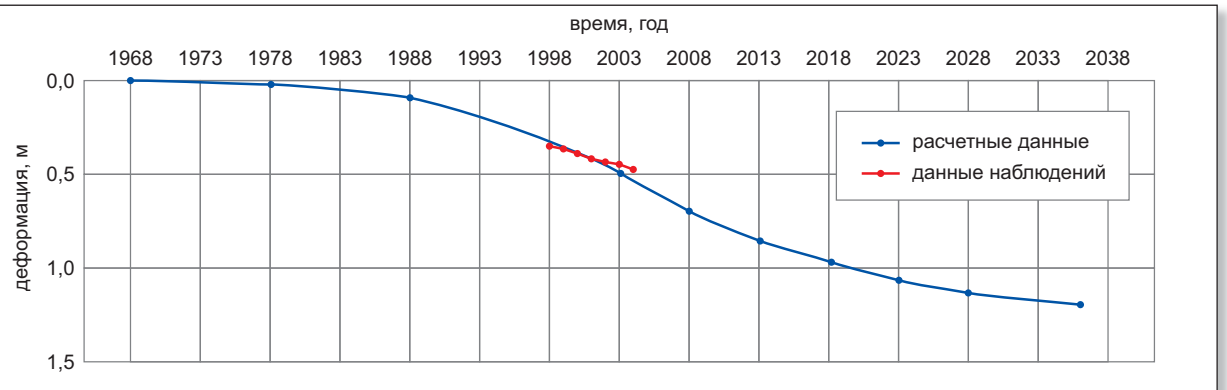


Рис. 12. Оседание земной поверхности по данным станции «Хадинь» и его сравнение с расчетными значениями

Таблица 5

Расчетные понижения уровня подземных вод по данным станции «Хадинь» на ближайшие 25 лет (в зависимости от добычи подземных вод, согласно [7])

Год	1968	1978	1988	1998	2003	2008	2013	2018	2023	2028	2036
Снижение уровня подземных вод, м	0	4,8	9,6	14,4	16,8	19,2	20,86	21,86	22,59	22,95	23,30

Выполненное моделирование оседания поверхности вследствие извлечения подземных вод показало, что 96% от общей величины осадки составляет сжатие мягкопластичных глинистых грунтов. Сравнение расчетных данных с данными натурных наблюдений (см. рис. 11) показало, что фактическая скорость оседания на станции «Тханьконг» меньше расчетной.

На станции «Хадинь» ввод водозабора был осуществлен в 1968 году, снижение уровня грунтовых вод в настоящее время составило более 20 м. Характеристики грунтов для этой станции, используемые при моделировании, приведены в табл. 4. Результаты моделирования представлены на рис. 12 и в табл. 5.

Сжатие мягкопластичных глинистых грунтов составляет 85,8% от общей величины деформаций. Величина сжатия в этом слое может достигать до 6,2 см на 1 м. На рисунке 13 показано сравнение расчетных данных с результатами мониторинга на станции «Хадинь» в период с 1997 по 2004 год. Фактическая скорость оседания меньше расчетной.

Выводы

1. Выполнено прогнозирование оседания дневной поверхности, вызванного откачкой подземных вод в микрорайонах Тханьконг и Хадинь с помощью программы TZP [2]. Результаты расчетов осадки показали неплохое соответствие данным мониторинга. Рекомендуется использовать эту методику для прогнозирования осадок поверхности в других районах г. Ханоя. Результаты анализа также показали, что сжатие мягкопластичных глин составляет более 85% от величины осадки.

2. Подземное пространство г. Ханоя представлено сильносжимаемыми грунтами, в том числе глинами с органическими включениями, илами, торфами. Извлечение подземных вод в г. Ханое непрерывно увеличивается, особенно в последние 15 лет (с 40 тыс. $м^3$/сут в 1950 г. до более чем 1 млн $м^3$/сут в 2011 г.) Уровень грунтовых вод снизился с 2–4 до 14–16 м от поверхности земли. Сочетание этих двух факторов приводит к значительным осадкам поверхности, вызывая деформации инженерных сооружений и коммуникаций.

3. С целью решения этой проблемы необходимо предпринимать эффективные меры, например устраивать новые водозаборы в менее опасных зонах, использовать для водоснабжения города поверхностные воды и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Мань Н.Д.* Инженерно-геологическое обеспечение освоения подземного пространства г. Ханоя (Вьетнам): автореф. дис. … канд. геол.-минер. наук. СПб., 2010. 24 с.
2. *Giao P.H., Phien-wej N. A* FEM programme for land subsidence analysis // Proceedings of the International Workshop «Hanoi Geoengineering 2003–2004». Hanoi, Vietnam: Vietnam National University Publishing House, 2004. P. 77–82.
3. *Minh N.N.* Review and analysis Hanoi land subsidence monitoring data / Master thesis. Bangkok, Thailand: Asian Institute of Technology, 2008. 142 p.
4. *Phai V.V.* Geology, geomorphology and mineral resources of Hanoi City, Vietnam. Hanoi: Hanoi Publishing House, 2010. 280 p.
5. *Poland J.F.* Guidebook to studies of subsidence due to groundwater withdrawal / For the International Hydrological Programme, Working Group 8.4. Chelsea, Michigan, USA: Book Crafters, 1984. ISBN 92-3-102213-X. 340 p.
6. Report on groundwater level monitoring in Hanoi, Vietnam / For the Northern Division of Water Resources Planning and Investigation (NDWRPI). Hanoi, Vietnam: NDWRPI, 2004. 26 p.
7. Report on prediction of groundwater level in Hanoi / For the Hanoi Water Business Company (HWBC). Hanoi, Vietnam: HWBC, 2009. 84 p.
8. Report on Research programme on Hanoi land subsidence due to changing of groundwater level / For the Hanoi Institute of Building Technology (HIBT). Hanoi: HIBT, 2004. 125 p.
9. *Terzaghi K.* Simplified soil test for subgrade and their physical significance // Public Roads. 1925. V. 7. P. 153–162.
10. *Toan D.T.* Hanoi land subsidence with reference to development of a proper monitoring network / Master thesis № GE-04-20. Bangkok, Thailand: Asian Institute of Technology, 2005. 124 p.

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

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

ПАШКОВСКИЙ И.С.
Главный геолог-эколог ЗАО «Геолинк Консалтинг», г. Москва
ПОТАПОВА Е.Ю.
Старший научный сотрудник кафедры гидрогеологии МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, epotapova@geolink-group.com

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

Аннотация

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

PASHKOVSKY I.S.
The chief geologist-ecologist of the «Geolink Consulting» close corporation, Moscow
POTAPOVA E.U
A senior staff scientist of the hydrogeology department of Lomonosov Moscow State University, Moscow, epotapova@geolink-group.com

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

Abstract

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

Введение

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

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

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

Природные условия исследуемой территории

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

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

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

Речная сеть рассматриваемой территории принадлежит к бассейну реки Алдан.

Геологические, гидрогеологические и геокриологические условия

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

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

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

Типовые схемы строения толщи в основаниях фундаментов

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

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

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

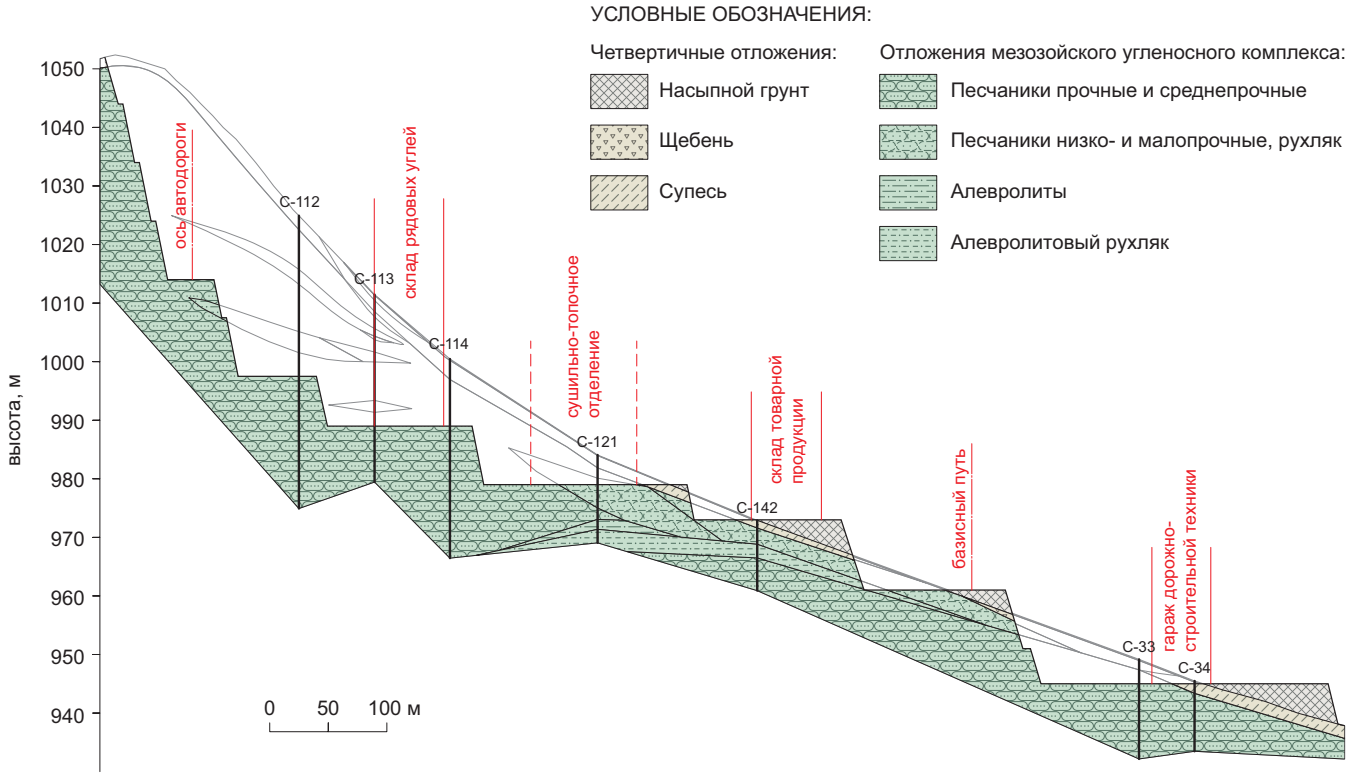


Рис. 1. Инженерно-гидрогеологический разрез территории проектируемого строительства ГОК

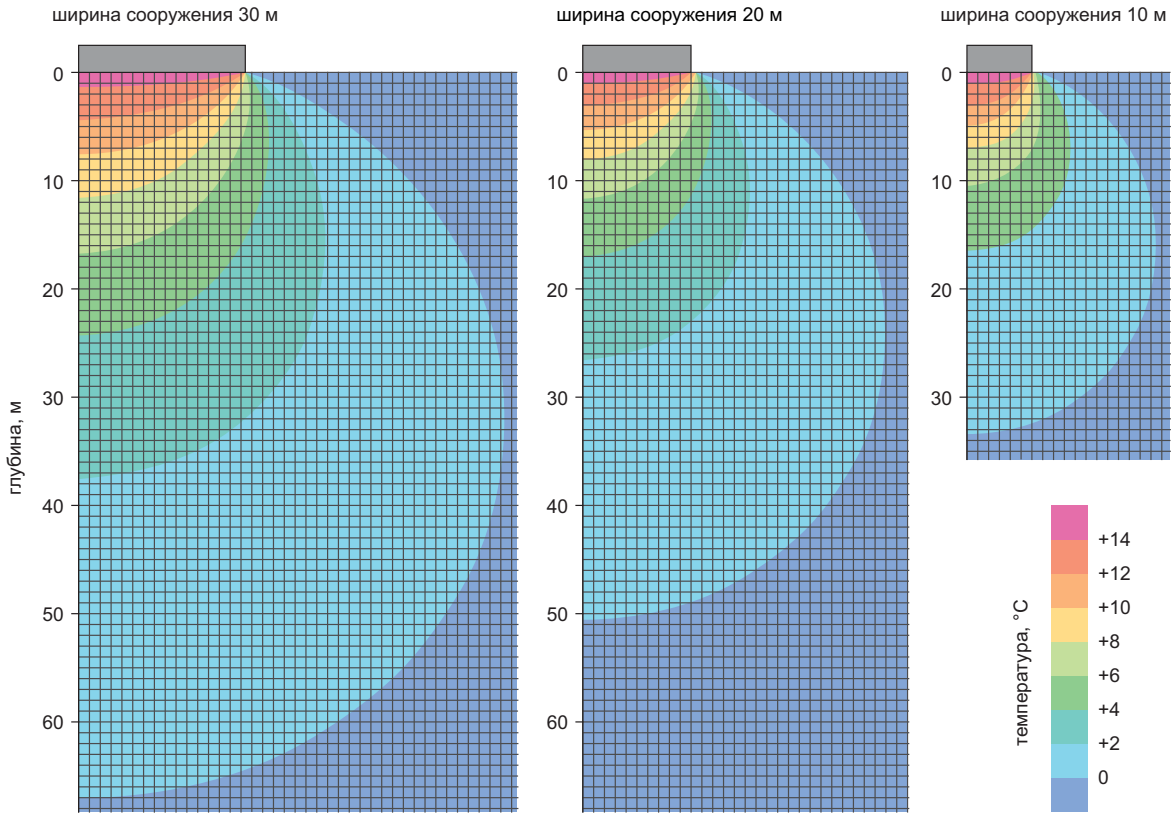


Рис. 2. Распределение температур под сооружениями различной ширины. Сооружения показаны прямоугольниками. Линиями, разделяющими зоны разного цвета, показаны изотермы. Цифры внутри квадратов — температура (°С)

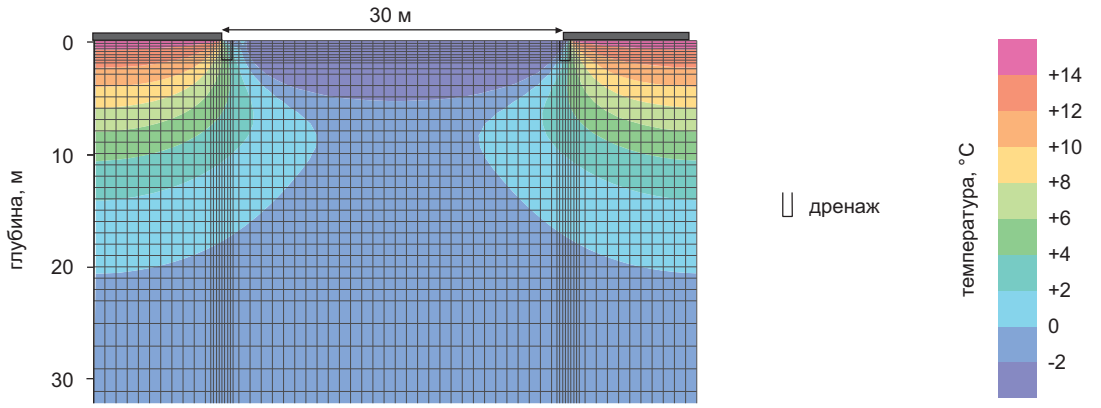


Рис. 3. Фрагмент модельной картограммы распределения температур под сооружением в зоне дренажа на декабрь 3-го года после строительства сооружения

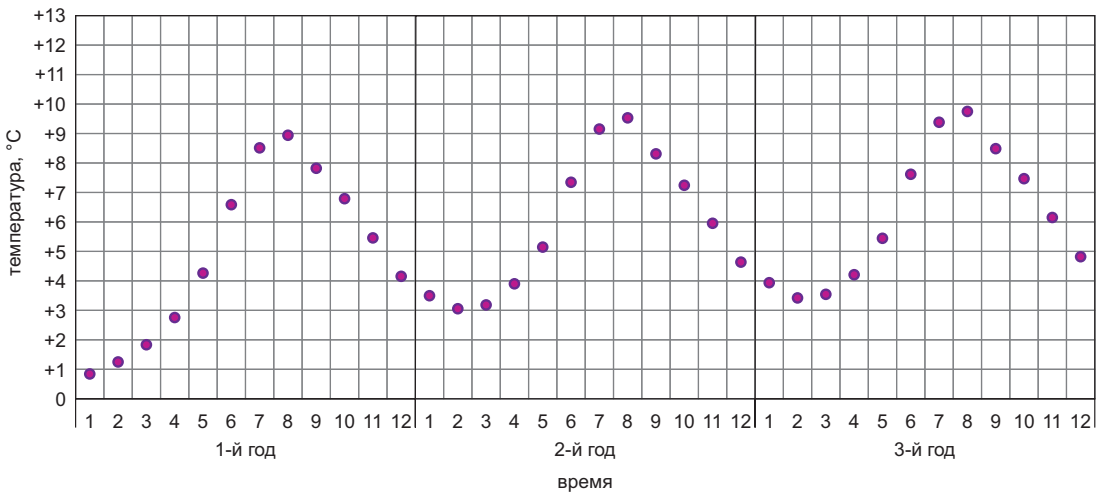


Рис. 4. Графики сезонного хода температур в пределах дрены А при температуре внутри сооружения +15°С

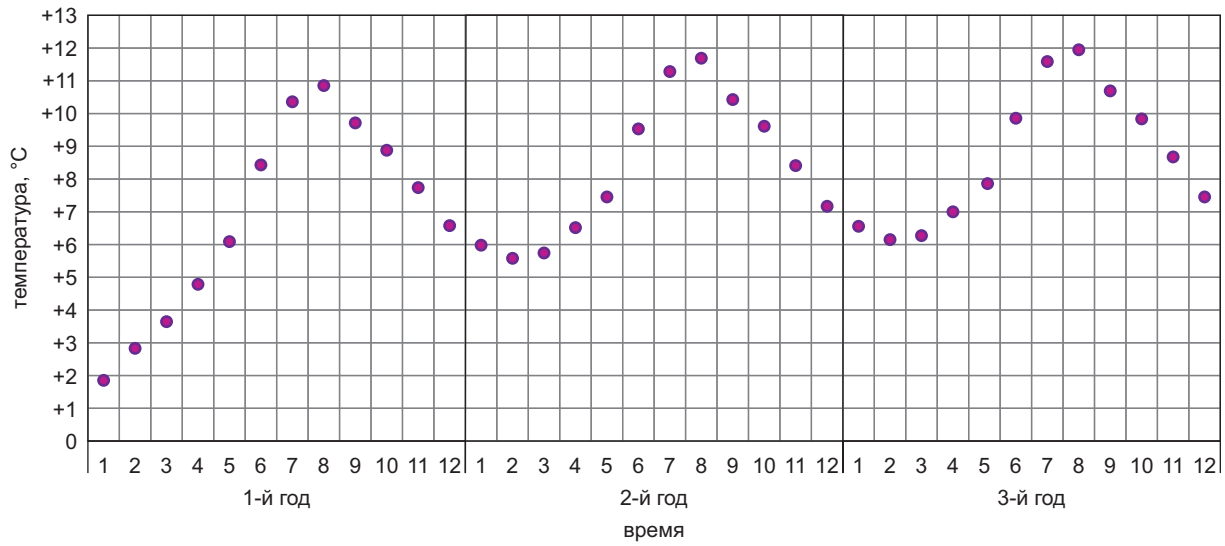


Рис. 5. График сезонного хода температур в пределах дрены (блока 17/8) при температуре внутри сооружения +20°С

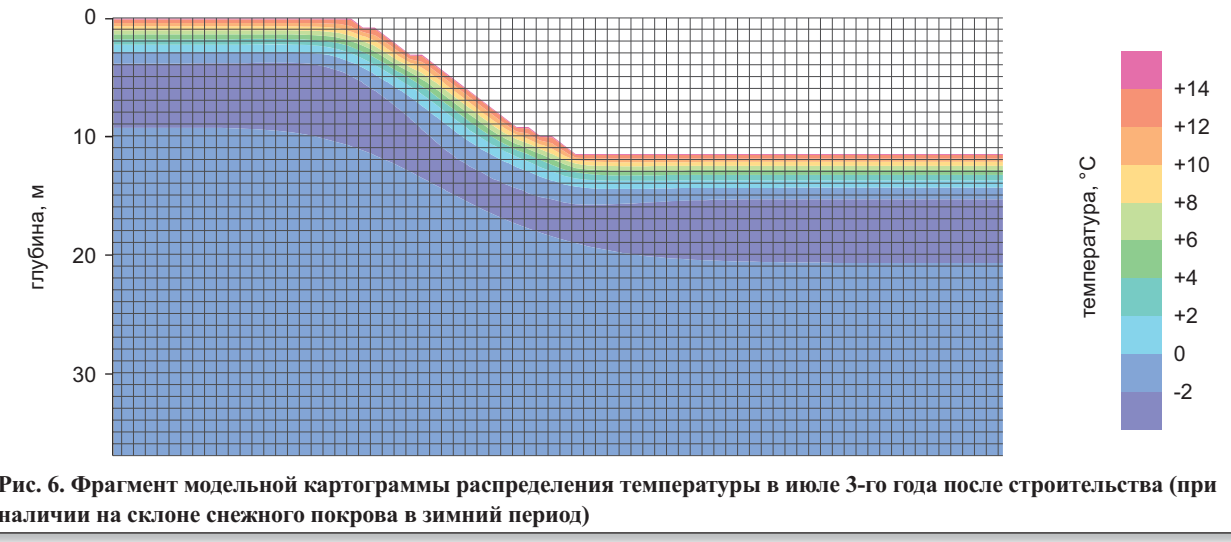


Рис. 6. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в июле 3-го года после строительства (при наличии на склоне снежного покрова в зимний период)

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

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

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) +$$

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

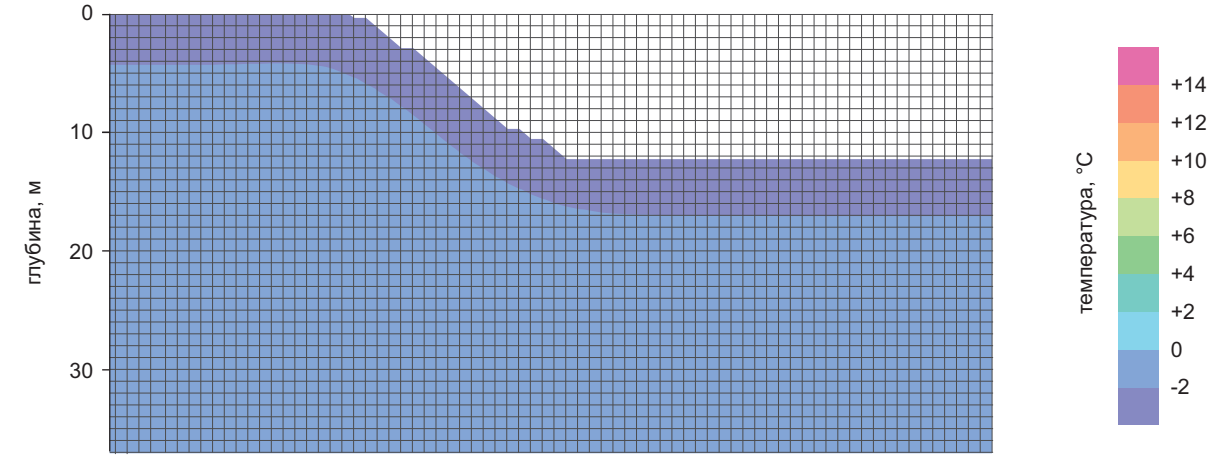


Рис. 7. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в декабре 3-го года после строительства (при наличии на склоне снежного покрова в зимний период)

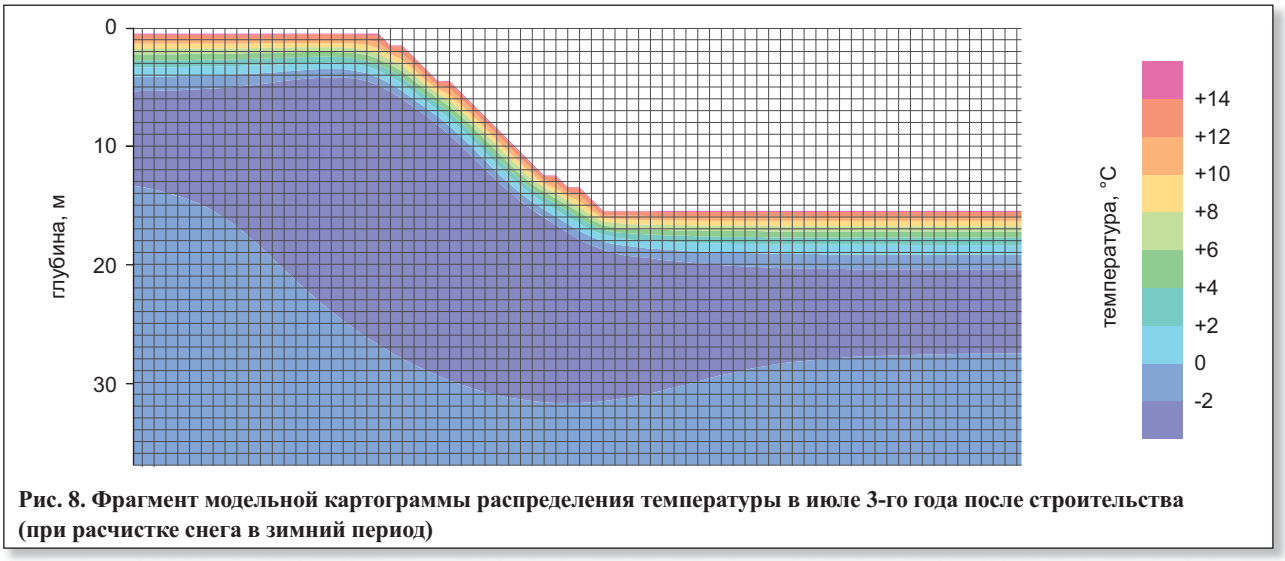


Рис. 8. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в июле 3-го года после строительства (при расчистке снега в зимний период)

где T — температура, °С; λ_x, λ_y, λ_z — коэффициенты теплопроводности (ккал/м^3·ч·°С) в направлениях x, y, z (м) соответственно; C — теплоемкость грунта, ккал/м^3·град; — скрытая объемная теплота фазового перехода (ккал),θ_f — количество замерзшей влаги, или льдистость (д.е.); t — время (сут).

Схематизация и границы мерзлотных моделей

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

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

Были заданы следующие граничные условия: (1) на верхней и нижней границах — условие первого рода (t = const); (2) на боковых границах — условие второго рода (непроницаемая граница).

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

Прогноз промерзания/оттаивания в зоне дренажа

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

Помесячные графики хода температуры T за три года эксплуатации сооружений для варианта 1 (при T внутри сооружения +15°С) и для варианта 2 (при T внутри сооружения +20°С) дают возможность наглядно оценить T в пределах дрены по сезонам (рис. 4, 5).

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

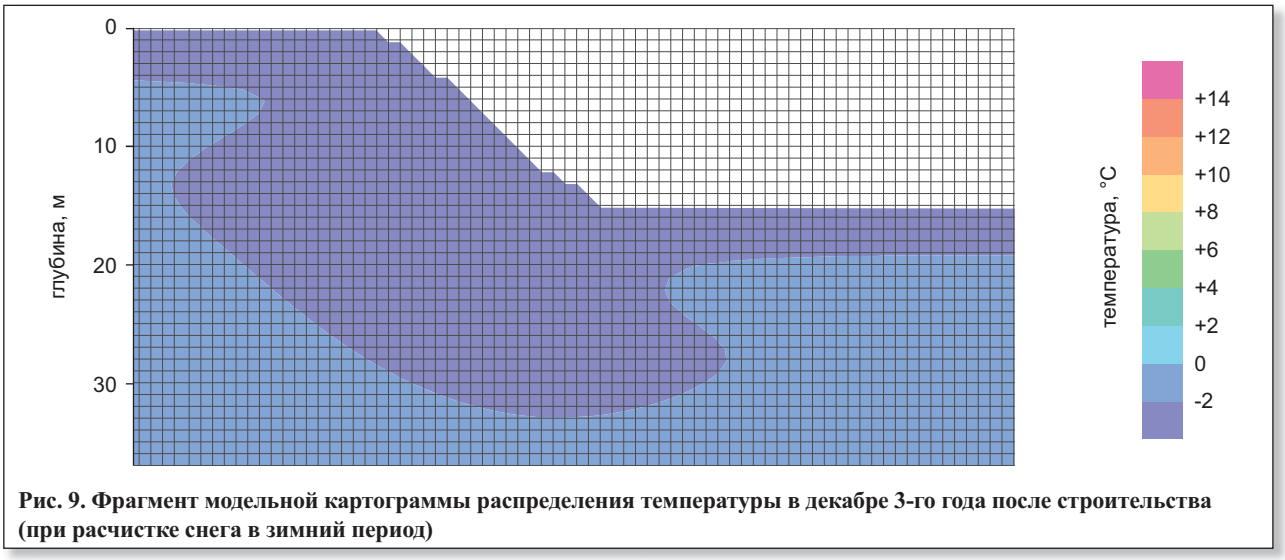


Рис. 9. Фрагмент модельной картограммы распределения температуры в декабре 3-го года после строительства (при расчистке снега в зимний период)

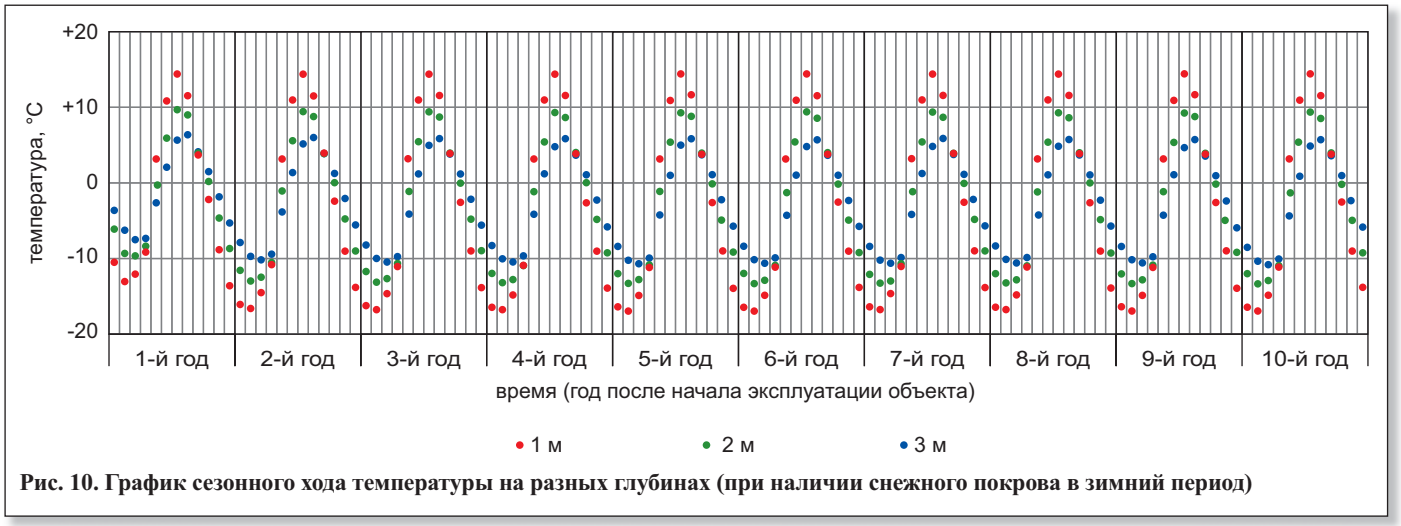


Рис. 10. График сезонного хода температуры на разных глубинах (при наличии снежного покрова в зимний период)

Моделирование промерзания/оттаивания вне зоны сооружений

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

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

Для оценки сезонного промерзания/оттаивания вне зоны проектных сооружений, а также изменения температуры на различных глубинах было выполнено моделирование прогнозной тепловой задачи на 10 лет после начала эксплуатации объектов (рис. 10, 11). Оно также выполнялось для двух вариантов — при наличии и при отсутствии снежного покрова в зимний период.

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

Обоснование дренажных мероприятий

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

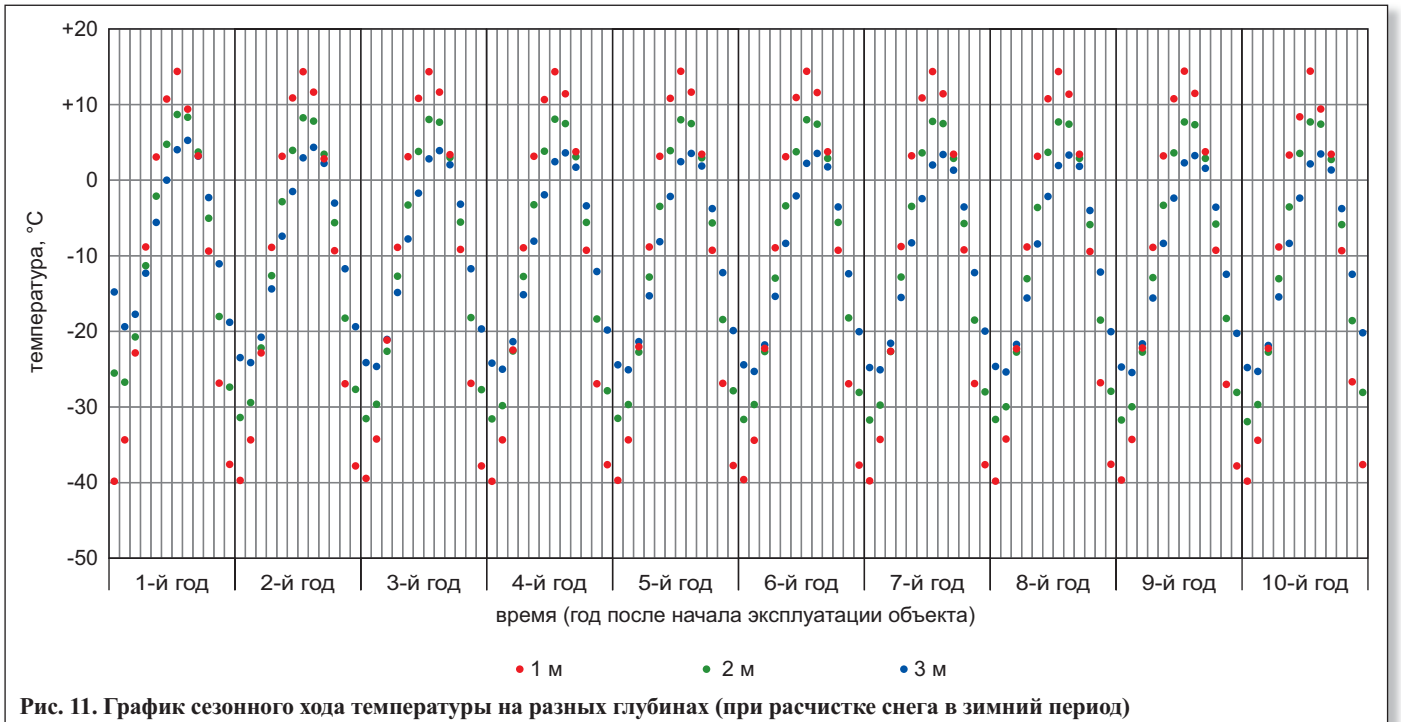


Рис. 11. График сезонного хода температуры на разных глубинах (при расчистке снега в зимний период)

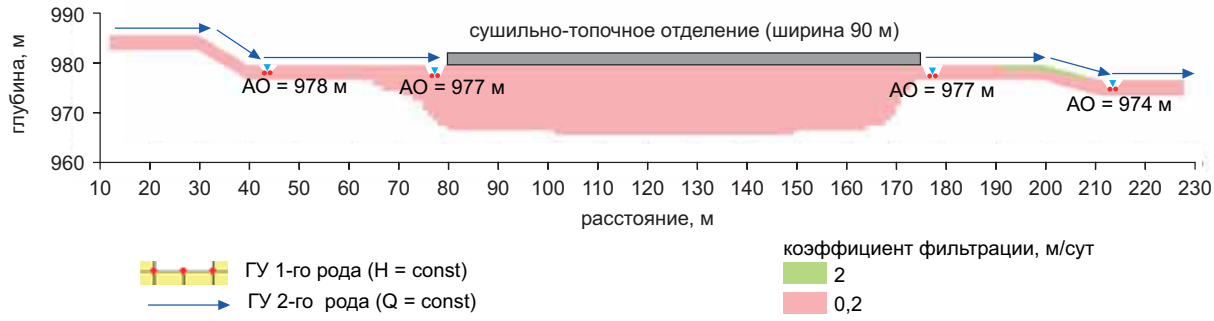


Рис. 12. Схема профильной модели для участка сушильно-топочного отделения: АО — абсолютная отметка; ГУ — граничные условия; Н — напор; Q — расход; углублениями с голубыми треугольниками показаны дрены

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

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

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

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

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

Гидродинамическое моделирование выполнялось в стационарной постановке. Для его проведения использовалась программа GEQ-SLOPE 2007 (Канада), в частности ее модуль SEEPW, предназначенный для решения профильных задач геофильтрации с различной сеточной дискретизацией, в т.ч. и неравномерной. Размеры всех сеточных блоков составляли 1×1 м. Схема модели представлена на рис. 12, результаты моделирования — на рис. 13.

Гидродинамическое моделирование

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

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

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

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

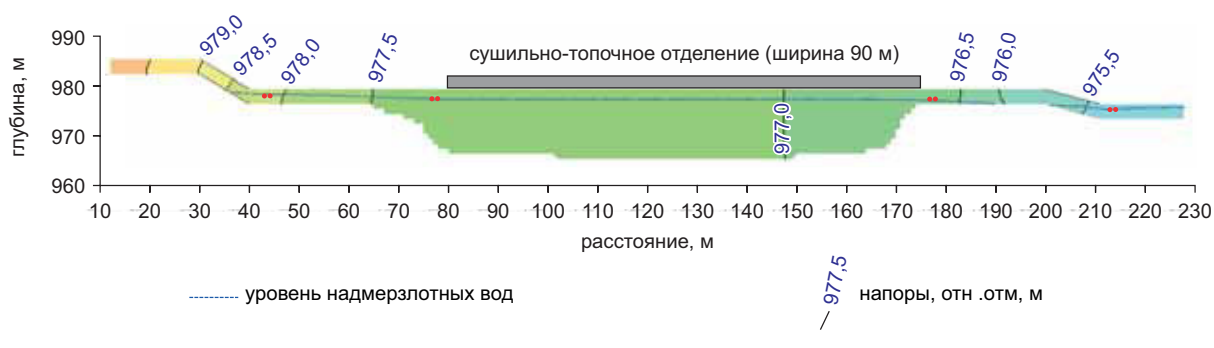


Рис. 13. Результаты решения гидродинамической задачи при наличии пристенного дренажа

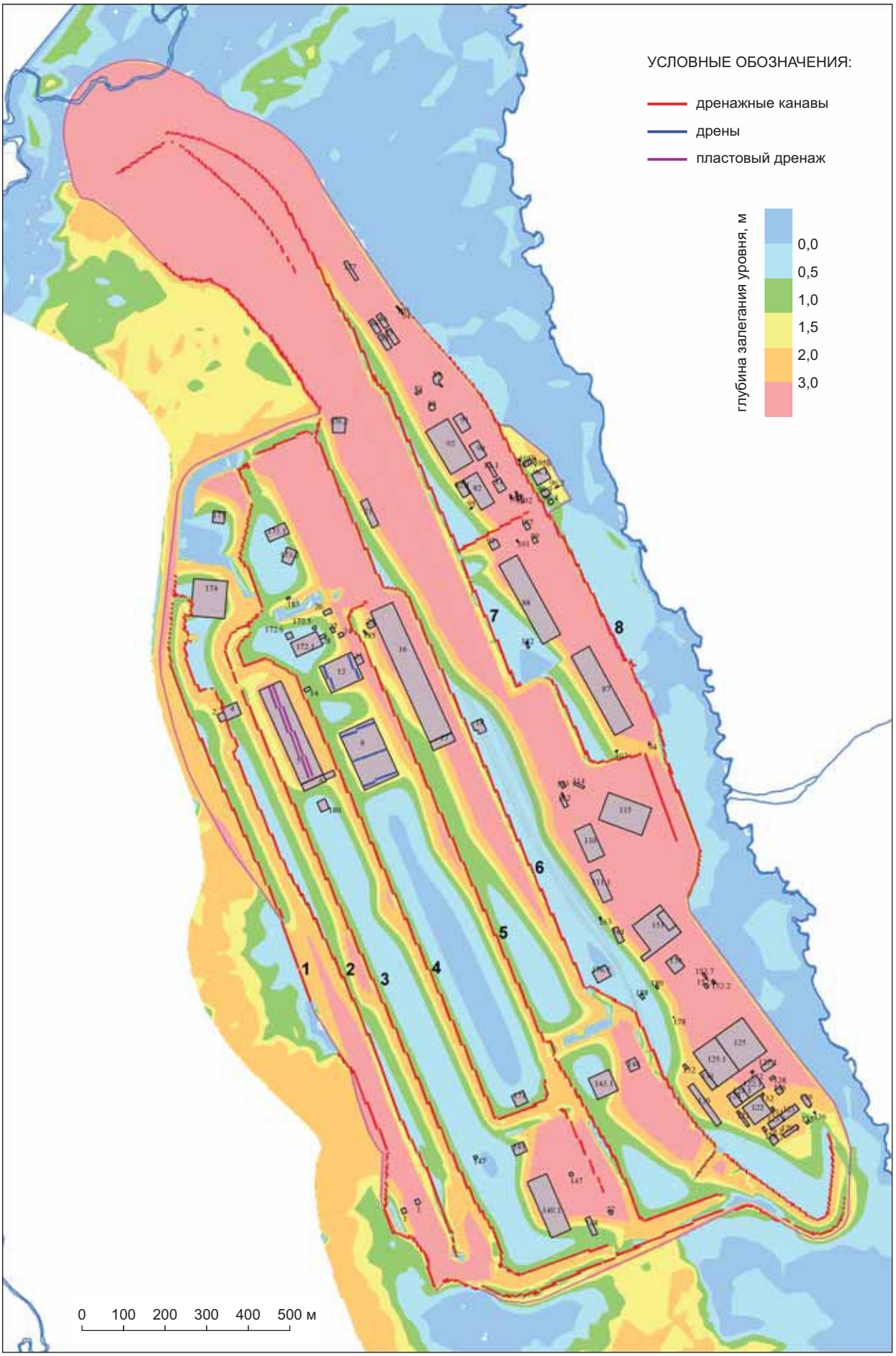


Рис. 14. Прогнозная картограмма глубин залегания уровней подземных вод

рии проектируемого строительства. Общая площадь модели — 5,4 км^2.

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

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

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

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

Заключение и выводы

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛИТОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

METHODOLOGICAL BASIS OF ENGINEERING-GEOLOGICAL SUBSTANTIATION OF LITHOTECHNICAL SYSTEM MANAGING

ГАЛКИН А.Н.
Доцент кафедры географии Витебского государственного университета им. П.М. Машерова, к.г.-м.н., Galkin-Alexandr@yandex.ru

GALKIN A.N.
An associate professor of the department of geography of Masherov Vitebsk State University, candidate of geological-mineralogical sciences, Galkin-Alexandr@yandex.ru

Ключевые слова:
инженерная геология; литотехнические системы (ЛТС); состояние системы; режим функционирования; управление ЛТС; информация; инженерно-геологическое обоснование; методологические подходы.

Key words:
engineering geology; lithotechnical systems (LTS); system state; regime of operation; LTS managing; information; engineering-geological substantiation; methodological approaches.

Аннотация

В статье на основе теорий системного анализа, мониторинга и геокибернетики раскрыто содержание и дано развернутое определение понятия «управление литотехнической системой (ЛТС)», сформулированы его цель и задачи. Предложено новое определение понятия «инженерно-геологическое обоснование управления ЛТС». Установлена необходимость применения в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений по оптимизации функционирования ЛТС системного, ситуационного, динамического и сценарного научных подходов.

Abstract

The article reveals the contents and gives a detailed definition of the concept of «lithotechnical system (LTS) managing» on the basis of the system analysis theories, monitoring and geocybernetics, formulates its goals and objectives. The authors propose a new definition of the concept of «engineering-geological substantiation of lithotechnical system managing». The necessity of using systemic, situational, dynamic and scenario scientific approaches for developing geologically substantiated managerial decisions to optimize LTS operation is determined.

Введение

Изучение процессов, происходящих в верхних горизонтах литосферы в связи с инженерной деятельностью человека, традиционно считается одной из главных научных задач инженерной геологии. При этом предметами исследований все чаще выступают литотехнические системы (ЛТС), под которыми понимают любые комбинации из технических устройств или технических продуктов их использования и литосферного блока любой размерности, элементы которых взаимодействуют друг с другом и объединяются выполняемой социально-экономической функцией. В инженерной геологии они изучаются с целью обеспечения устойчивого функционирования инженерных сооружений либо инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом [28].

В условиях современного обострения геоэкологических проблем одной из важнейших инженерно-геологических задач является реабилитация (восстановление) техногенно нарушенных территорий, на которых состояние литотехнических систем уже достигло критического или опасного уровня развития. Для решения этой задачи необходима научная разработка геологического (точнее, инженерно-геологического) обоснования управления такими системами.

В настоящее время имеется целый ряд научных работ, рассматривающих проблемы управления ЛТС или ПТС (природно-техническими системами). В большинстве своем они затрагивают вопросы создания систем управления функционированием отдельных типов ЛТС (ПТС) — урбанизированных территорий (Г.А. Голодковская, Е.С. Дзекцер, Г.Л. Кофф, В.И. Осипов, А.Л. Рагозин, Л. Чан Мань и др.), памятников архитектуры (В.Л. Невечеря, В.О. Подборская и др.), полигонов ТБО (О.М. Гуман, С.Н. Костарев и др.), объектов нефтегазового (В.Г. Аковецкий, В.В. Пен-

дин и др.), горнодобывающего (В.Н. Попов, Е.А. Федорова и др.), железнодорожного (А.П. Камышев и др.) и автотранспортного (В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко и др.) комплексов, промышленного и гражданского строительства (М.В. Графкина, А.Д. Потапов и др.) и ряда других. В каждой из этих систем, как показывает анализ, обеспечивается определенная (в зависимости от критерия эффективности [4]) эффективность управления ЛТС. Однако, по мнению автора, используемые разными учеными методологические подходы к управлению не учитывают всего многообразия типов ЛТС, как следствие, имеют ограниченное применение и носят частный характер. Поэтому ни один из них не может служить общей основой для формирования научной стратегии инженерно-геологического обоснования управления ЛТС.

Теоретические и методологические аспекты управления функционированием ЛТС в целом наиболее полно отражены в работах Г.К. Бондарика [2–9] и В.А. Королева [21, 22]. В этих работах с позиций теории управления геологической средой (по В.А. Королеву) или геокибернетики (по Г.К. Бондарику) достаточно подробно рассмотрены функциональная сущность управления литотехническими системами, его цели, задачи, существующие возможности и ограничения, а также ряд научных положений и принципов, определяющих научно обоснованные подходы к управлению ЛТС. В то же время данные работы, несмотря на высокую степень их информативности, не в полной мере учитывают специфику различных ЛТС (их структуру, функциональные особенности (длительность и режим работы), пространственное положение и т.п.), от которой в значительной степени будет зависеть выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования этих систем.

Цель настоящей работы — развитие современных научных представлений об управлении литотехническими системами, базирующихся на теориях системного анализа, мониторинга и кибернетики, об особенностях управления функционированием ЛТС различного уровня, об информационном обеспечении (как основе для разработки методологических подходов и принципов создания системы инженерно-геологического обоснования управления ЛТС). В соответствии с этим в статье решаются следующие задачи:

1) на основе анализа главных факторов (состояния и режима функционирования ЛТС), определяющих условия управления данной системой, предложить теоретически продуктивную и содержательную формулировку понятия «управление ЛТС», сформулировать его цель и задачи;
2) рассмотреть особенности информационного обеспечения управления литотехническими системами, определить условия получения информации, необходимой для управления ЛТС;
3) раскрыть содержание и дать определение понятия «инженерно-геологическое обоснование управления ЛТС»;
4) определить и обосновать методологические подходы, необходимые в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС.

Современные представления об управлении литотехническими системами

Любые литотехнические системы изначально создаются как управляемые. При этом управление ЛТС представляет собой заключительную цепь функциональных процедур в системе их мониторинга.

В общем виде под управлением понимается *процесс организации целенаправленного воздействия на какую-либо систему, обеспечивающий ее переход в требуемое (целевое) состояние, поддержание необходимых режимов ее функционирования, а также сохранение и развитие ее структуры*. Иными словами, управление есть функция некоторой системы, направленная либо на сохранение ее основного качества, потеря которого приводит к ее разрушению, либо на выполнение программы, обеспечивающей устойчивость функционирования данной системы и достижение ею заданной цели, либо на ее развитие. Отсюда следует, что цель любой функциональной системы состоит в обеспечении собственного устойчивого существования [21].

Управление является необходимым условием нормального функционирования всякой системы, в т.ч. и ЛТС. Его основу составляют процессы получения информации о системе, ее переработки, нахождения управляющих воздействий и обеспечения их реализации.

Согласно Г.К. Бондарику [3, 4], управление литотехнической системой — это взаимодействие с ней, выбранное на основе соответствующей информации из возможных вариантов взаимодействий, улучшающее в требуемом отношении функционирование ЛТС. Управление всегда предусматривает изменение состояния системы, которое достигается в результате изменения управляющих взаимодействий.

В теории систем и кибернетике состояние системы есть упорядоченная совокупность значений параметров (внутренних и внешних), определяющих ход происходящих в ней процессов. При этом множество значений параметров системы в различные моменты времени образует пространство ее состояний. Соответственно функционирование системы можно определить как «смещение» в пространстве ее состояний.

Под состоянием литотехнической системы, по Г.К. Бондарику [9], следует понимать совокупность геологических и технических параметров, определяющих ее функционирование в некоторый момент времени. Другими словами, ***состояние ЛТС — это параметрически выраженная характеристика свойств системы и происходящих в ней процессов в какой-либо момент времени после начала ее функционирования.***

К таким параметрам (или переменным), как правило, относятся те величины, которые можно измерять количественно и которые способны изменяться в процессе функционирования ЛТС. Причем согласно принципу конечной мощности системы изменяться эти параметры могут в строго определенном интервале величин*. Отсюда следует, что, поскольку совокупность значений всех характеризующих систему параметров в каждый момент времени есть ее состояние, она способна находиться в самых разных состояниях, определяемых граничными условиями ее существования или пределами области ее допустимых состояний. Последнее, как отмечает С.Д. Ганова [16], должно соответствовать выполняемым системой функциям — в противном случае она будет неэффективной. С другой стороны, усложнение системы с выходом за указанные пределы в конечном итоге приведет к ее разрушению или «гибели» [16].

В процессе управления данные параметры могут подразделяться на входные и выходные, а с точки зрения их участия в управлении — на управляющие и управляемые соответственно. Значения управляющих переменных выбираются в системе мониторинга геологической подсистемы ЛТС на основе обработки поступившей и поступающей информации о геологической среде, требований к ЛТС и желаемых значений управляемых переменных. Управляющие переменные действуют на управляемую часть литотехнической системы, изменяя значения управляемых переменных в нужном направлении [22].

С понятием «состояние ЛТС» тесно связано понятие «режим функционирования ЛТС», поскольку и то, и другое определяется поведением параметров системы. ***Под режимом функционирования литотехнической системы в данной работе понимается изменение в некоторый момент времени количественных показателей (параметров) ЛТС и происходящих в ней процессов, способное отражать ее состояние.***

В зависимости от поведения параметров в процессе управления литотехнической системой различают два режима ее функционирования — *установившийся* (стационарный) и *неустановившийся* (нестационарный или переходный). В общем виде первый из них характеризуется отсутствием каких-либо изменений параметров или переменных величин системы во времени, а второй возникает в случае, когда под влиянием управляющих или возмущающих параметров система переходит от одного установившегося режима к другому [22].

Применительно к элементарным ЛТС (ПТС) Г.К. Бондарик и Л.А. Ярг [8] эти режимы характеризуют следующим образом: «...Неустановившийся режим ПТС охватывает период от начала строительства до некоторого момента времени после его завершения. Последний момент времени отвечает такому состоянию геологической среды внутри сферы взаимодействия, которое характеризуется как условно стабильное. Завершение периода развития ПТС, которому свойственен неустановившийся режим, фиксируется по времени относительной стабилизацией инженерно-геологических процессов, расчет которых производился при проектировании ПТС... В ходе функционирования ПТС постепенно переходит от неустановившегося режима к установившемуся, при котором инженерно-геологические процессы достигают стадии относительной стабилизации…» [8].

В правильности подобного описания режимов функционирования ЛТС трудно сомневаться. Однако существуют литотехнические системы различного уровня организации (от элементарных до глобальной), эксплуатация которых сопряжена с постоянным на протяжении длительного времени (иногда даже всего их «жизненного цикла») извлечением или привносом в них вещества и энергии, что приводит к непрерывным изменениям в составляющей эти системы геологической среде и не позволяет им долгое время находиться в стабильном (равновесном) состоянии, в т.ч. и в условно стабильном. В соответствии с этим ***при характеристике неустановившегося режима функционирования ЛТС автором предлагается выделять стадии его развития*** [10], от которых в значительной степени будут зависеть особенности прогнозных оценок и, как результат, обоснования управленческих решений в целях оптимизации работы системы (см. таблицу).

Кроме того, по мнению автора, от принадлежности к той или иной стадии развития будет зависеть и оптимизация режима функционирования ЛТС (цель которой состоит в установлении наилучшего, в некотором смысле оптимального, режима поведения ЛТС).

По Г.К. Бондарику [5], оптимальный режим функционирования ЛТС — это такой режим, при котором траектория (или пространственное смещение состояний) системы никогда не выйдет за границы области ее допустимых состояний. При этом для сравнения и оценки вероятных режимов функционирования системы и выбора наилучшего нужно иметь некоторую меру, которая в теории систем получила название ***критерия эффективности — показателя, выражающего степень соответствия действительного результата тому, который должен иметь место при всей полноте выполнения системой своей функции.***

Исходя из параметров и состояния литотехнической системы на каждой стадии режима ее работы (см. таблицу), можно сделать вывод, что ***оптимальным следует считать тот режим, который в своем развитии не достиг критической и/или катастрофической стадий.***

Управление ЛТС нередко сопровождается наличием ограничений как производственного характера (экономического, административного, технологического, технического и др., к примеру, ограничений по времени и объему финансирования на реализацию управленческих решений или по объему и качеству необходимой инженерно-геологической информации), так и природного или геологического (например, при управлении зданиями и сооружениями в сейсмических обла-

стях или в районах развития многолетнемерзлых толщ). Выявление подобных ограничений является важной задачей в управлении ЛТС, поскольку их несоблюдение служит одной из главных причин принятия заведомо неэффективных, нереальных, а то и просто ошибочных управленческих решений.

Вышесказанное позволяет сформулировать следующее определение. ***Под управлением литотехнической системой понимают процесс обеспечения оптимального режима ее функционирования на каждой ступени ее «жизненного цикла» с использованием всех имеющихся ресурсов (информационных, вычислительных, интеллектуальных, технических, технологических, административных, экономических и др.) при соблюдении множества ограничений. Его цель — при заданных параметрах состояния ЛТС с учетом их изменений в какой-либо момент времени обеспечивать требуемый режим работы системы при максимальном использовании различных ресурсов и ограничений и минимальных экономических затратах на это.*** В соответствии с указанной целью основными задачами управления литотехнической системой (в зависимости от этапов ее существования) являются: (1) сбор и обработка информации об ЛТС; (2) оценка и анализ состояния и функционирования ЛТС; (3) установление и диагностика проблем в состоянии и функционировании ЛТС; (4) выявление ресурсов и ограничений, необходимых для управления ЛТС; (5) выработка и обоснование управленческих решений для оптимизации работы ЛТС.

В отношении задач инженерной геологии приведенное выше определение управления ЛТС можно представить следующим образом. ***Управление литотехнической системой — это процесс достижения такого состояния ее геологической подсистемы (по Г.К. Бондарику, сферы взаимодействий литосферы с технической подсистемой, или СВЛ), которое способно обеспечить оптимальный режим работы всей системы в целом на каждом этапе ее существования, с использованием всех имеющихся ресурсов (информационных, вычислительных, интеллектуальных, технических, технологических, административных, экономических и др.) при соблюдении множества ограничений.*** При этом ***в качестве цели управления ЛТС здесь будет выступать минимизация неблагоприятных последствий изменений СВЛ и ее компонентов в какой-либо момент времени при максимальном использовании различных ресурсов и ограничений и минимизации экономических затрат на создание или поддержание ее устойчивых состояний, благоприятных для нормального функционирования ЛТС.*** Соответственно в задачи управления ЛТС будут входить: (1) сбор и обработка информации о СВЛ; (2) оценка и анализ состояния СВЛ; (3) установление и диагностика проблем в состоянии СВЛ; (4) выявление ресурсов и ограничений, необходимых для управления СВЛ; (5) выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации работы всей ЛТС.

Из последнего определения следует, что управление ЛТС может осуществляться путем регулирования состояния СВЛ (геологической среды в более широком понимании) с учетом прогнозных оценок ее развития. Реализовать эту задачу способна система методов управления, базирующаяся на использовании следующих механизмов [27]: (1) административно-правовых (законов, стандартов, нормативов, прямых запретов, аудита, экспертизы и др.); (2) экономических (экономической оценки ущерба и др.); (3) научно-технических (инженерно-технологических мероприятий и др.).

Первые две группы механизмов непосредственно применимы лишь к административным органам управления ЛТС. Научно-технические механизмы связаны с разработкой [22]:

- профилактических мероприятий, способных предотвратить возможность развития неблагоприятных инженерно-геологических процессов;

Таблица

Стадии развития неустановившегося режима функционирования ЛТС	
Стадия развития	**Характеристика параметров и состояния ЛТС**
Нормальная	Структура, конфигурация и объем сферы взаимодействия литосферы с технической подсистемой (СВЛ), а также набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов соответствуют проектным параметрам; значения показателей свойств компонентов СВЛ находятся в пределах фона, не превышая предельно допустимых уровней (ПДУ). Состояние ЛТС дает возможность прогнозировать различные ситуации с множеством вариантов управленческих решений.
Напряженная	Структура, конфигурация и объем СВЛ, набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов в целом отвечают проектным параметрам; значения показателей свойств компонентов СВЛ изменяются до ПДУ, иногда превышая их. Состояние ЛТС позволяет составлять прогнозы и корректировать принимаемые решения; управление процессами, происходящими в СВЛ, не затруднено.
Критическая	Структура, конфигурация и объем СВЛ в целом отвечают проектным параметрам, в редких случаях выходя за пределы допустимых условий функционирования ЛТС. Набор, масштаб и интенсивность инженерно-геологических процессов, а также свойства компонентов СВЛ подвержены значительным и слабокомпенсируемым изменениям. Управление процессами, происходящими в СВЛ, затруднено.
Катастрофическая	Происходят глубокие и часто необратимые изменения в СВЛ и резкое ухудшение свойств ее компонентов, вызванные в основном многократным превышением техногенных нагрузок. Управляющие действия носят апостериорный характер, основные усилия направлены на ликвидацию последствий чрезвычайных ситуаций или всей ЛТС.

- компенсационных мероприятий, способных восстанавливать нарушенные участки геологической среды;
- инженерно-строительных (конструктивных) мероприятий, направленных на ослабление или видоизменение внешних воздействий на геологическую среду, а также борьбу с проявлениями нежелательных инженерно-геологических процессов и др.;
- методов технической мелиорации грунтов, позволяющих целенаправленно улучшать в нужном направлении свойства определенных участков геологической среды или создавать искусственные грунты с требуемыми свойствами, предотвращающими развитие негативных инженерно-геологических процессов.

Важно отметить, что реализация методов каждой из названных групп требует инженерно-геологического обоснования. По выражению В.Т. Трофимова [26], «особенно велика его роль при разработке управляющих решений оптимизации режима функционирования… систем с использованием научно-технических механизмов. Их осуществление без этого просто невозможно».

Информационные ресурсы управления ЛТС

Ранее отмечалось, что основу управления литотехнической системой (как и любой другой) составляют процессы получения информации о ней — ее состоянии, режиме функционирования, происходящих в ней процессах. Это является следствием положения о том, что управление ЛТС следует понимать не как одномоментный акт, а как последовательность действий, включающую: создание ЛТС (включая планирование и проектирование) → изучение ее состояния и функционирования → изучение изменений геологической среды → выявление негативных инженерно-геологических процессов → их оценивание → выбор принципиальных мер по борьбе с ними → проектирование конкретных мер по борьбе с ними → осуществление этих мер → изучение системы после проведения корректировочных мер → определение их эффективности → внесение изменений в режим эксплуатации системы.

Очевидно, что для осуществления каждого из этих действий требуется необходимая информация. Информацию, используемую в управлении ЛТС, в зависимости от источника, степени обобщения и времени получения принято разделять на априорную и апостериорную [25].

Априорная информация, или, как ее нередко называют, *начальная*, представляет собой совокупность заранее известных сведений о параметрах литотехнической системы (ее структуре, типе, конструкции, характере взаимодействий, свойствах и состоянии геологической среды), полученных путем обработки архивной и фондовой информации, а также результатов рекогносцировочных инженерно-геологических работ на стадиях планирования и проектирования ЛТС. Особенностью данной информации является то, что в ней изначально закладываются сведения о критериях оптимальности и ограничениях при функционировании ЛТС, выраженные в виде выбранных методов воздействий, установленных нормативных нагрузок и нормативных показателей (параметров) компонентов системы.

Использование априорной информации позволяет прогнозировать на ближайшее и отдаленное время поведение ЛТС, ее структуру, режим и состояние. В то же время у такой информации имеется существенный недостаток: будучи полученной заранее, она затем не только не обновляется (приобретает статичный характер), но вследствие различных случайных изменений, всегда существующих в реальных условиях, теряет свою достоверность. Данный недостаток компенсируется, как правило, получением *апостериорной* (*текущей, или оперативной*) *информации*, которая извлекается в результате наблюдений за изменениями состояния и свойств ЛТС и происходящих в ней процессов в различные моменты времени в периоды создания и эксплуатации системы. Использование апостериорной информации о текущем состоянии ЛТС позволяет осуществлять оценку и прогноз его изменения в пространственно-временных границах и тем самым обеспечивать оптимизацию управления этой системой.

Единственным способом получения подобной информации является мониторинг, система которого является компонентом ЛТС (подсистемой производства, обработки и накопления информации о текущих и будущих состояниях ЛТС, а также выработки рекомендаций по управлению) [5]. Теоретические и методологические основы мониторинга ЛТС, его структура и функционирование подробно рассмотрены в работах Г.К. Бондарика, А.П. Камышева, В.А. Королева, В.В. Пендина, В.Т. Трофимова, В.И. Осипова и др. [4, 6, 7, 9, 21–23, 28].

Среди указанных видов информации в управлении ЛТС особое место принадлежит инженерно-геологической, которая в совокупности с информацией технического и технологического характера составляет основу для разработки инженерно-геологических прогнозов взаимодействия технической и геологической составляющих ЛТС с последующей выработкой геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования данных систем.

По Г.К. Бондарику [8], инженерно-геологическая информация — это сведения о структуре, свойствах и процессах движения геологической среды, отбираемые и используемые для оценки ее современного состояния и прогноза взаимодействия с другими средами, в т.ч. с искусственной (сооружениями и другими продуктами человеческой деятельности). Другими словами, под инженерно-геологической информацией следует понимать сведения о компонентах инженерно-геологических условий и их изменениях. Эти сведения используются для оценки современного состояния геологической среды и прогноза развития инженерно-геологических процессов (рис. 1).

Инженерно-геологические исследования всегда предназначены для информационного обслуживания процессов, связанных с ЛТС [8]. Вследствие этого инженерно-геологическую информацию можно определить как сведения о геологической среде и ее движении, получаемые при производстве инженерно-геологических работ в целях обеспечения оптимального функционирования ЛТС различного иерархического уровня, вплоть до глобального.

Процесс управления ЛТС требует отвечающего его целям качественного информационного обеспечения. По выражению Г.К. Бондарика [4], используемая информация должна быть обоснованной с точки зрения ее соответствия принятым критериям эффективности функционирования ЛТС. Это определяется тремя показателями [5]: (1) качеством информации, использованной для оценки и разработки прогноза состояния ЛТС и ее компонентов (подсистем); (2) качеством полученных результатов; (3) эффективностью примененных способов получения и обработки информации.

При этом параметрами (элементами) качества здесь должны выступать полнота (в т.ч. количество и объем), оптимальность (необходимость и достаточность), точность, актуальность и достоверность информации, а также своевременность и оперативность ее получения. Следует отметить, что ее полнота и оптимальность целиком определяются на методическом уровне разработки системы мониторинга ЛТС. Остальные параметры

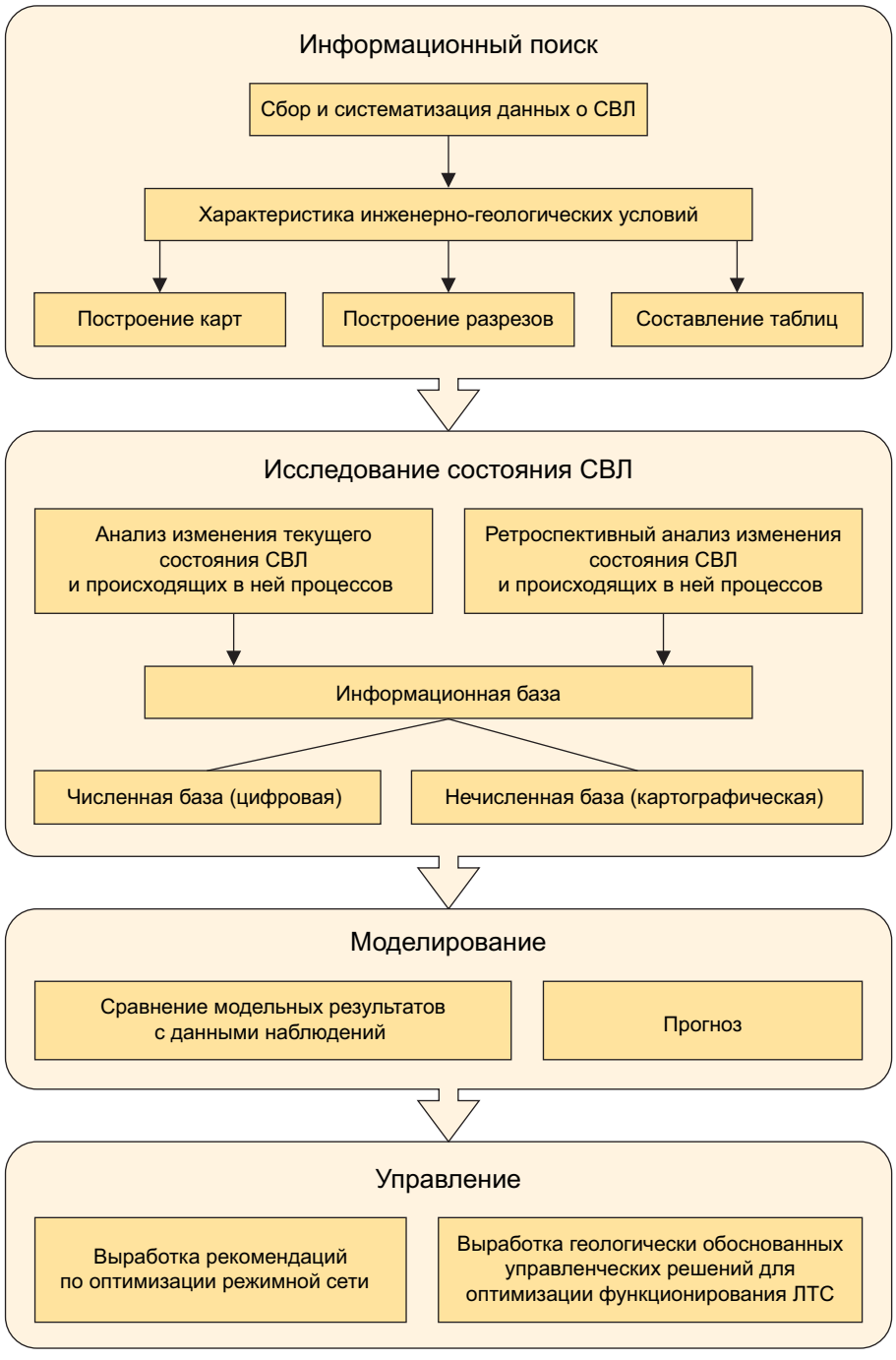


Рис. 1. Схема использования инженерно-геологической информации в системе мониторинга ЛТС

качества информации также в большей степени обусловливаются на методическом уровне, однако на их величину существенно влияет и характер функционирования ЛТС.

Информацию требуемого качества можно получить только располагая научно обоснованной режимной сетью наблюдений в системе мониторинга. Пространственно-временной объем этой сети при создании системы мониторинга задается целью управления, структурой ЛТС, а также инженерно-геологическими условиями, определяющими основные возмущающие воздействия, управление режимом которых обеспечивает требуемое состояние области взаимодействия геологической и технической составляющих ЛТС, т.е. устойчивость ЛТС к этим воздействиям.

Количество режимных сетей зависит от принятой системы управления и состояния ЛТС. Чем ближе состояние литотехнической системы будет находиться к границе области ее существования (по Г.К. Бондарику, границе области допустимых состояний системы), тем более высокие требования должны предъявляться к созданию сети режимных наблюдений. В этом случае последнюю надо создавать в наибольшем объеме. Если окажется, что выход управляемых воздействий за допустимые пределы практически исключен, то объем режимных сетей будет минимален.

Пространственно-временной объем однажды созданной режимной сети мониторинга не остается постоянным. В процессе функционирования ЛТС она меняется, при этом изменения направлены в сторону ее оптимизации, т.е. для обеспечения режимных наблюдений в объеме, необходимом и достаточном для решения задач управления ЛТС [25].

Методологические подходы к инженерно-геологическому обоснованию управления ЛТС

Как известно, завершающим этапом работы системы мониторинга литотехнических систем является выработка геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации их функционирования [26]. При этом необходимо отметить, что в мониторинге ЛТС речь идет именно о выработке управленческих решений (или об обосновании мероприятий по управлению этими системами), а не об их реализации, которая, по мнению В.А. Королева [22], должна осуществляться независимо.

В самом общем виде выработка решений в процессе управления (обоснование управления) представляет собой набор процедур, объединяемых в отдельные этапы [29]. Таких этапов можно выделить пять:

1) выявление, анализ и диагностика проблемы;
2) формирование целей и задач решения проблемы с учетом ограничений;
3) анализ способов решения проблемы и адекватных им управленческих решений;
4) моделирование вариантов сценариев, оценка результатов и последствий реализации разных вариантов;
5) выбор предпочтительного варианта, обоснование выбора.

Обоснование управления, как правило, инициируется возникновением проблемы, относящейся прямо или косвенно к объекту управления. Под проблемой понимают несоответствие между реальным (наблюдаемым) и желаемым (нормативным) состоянием управляемой системы [29]. Специалисты в области управления справедливо отмечают, что своевременно и верно определить проблему значит наполовину решить ее. Поэтому обнаружение проблем, проникновение в их сущность и их верное толкование — неотъемлемая часть процесса выработки решений.

Для ЛТС с инженерно-геологической точки зрения в качестве такой проблемы выступает изменение состояния сферы взаимодействий литосферы (или геологической среды), которое в случае несоответствия нормативным требованиям приводит к необходимости разработки инженерно-геологического обоснования управления геологической средой и, как следствие, работой всей системы.

Следовательно, ***инженерно-геологическое обоснование управления литотехнической системой*** можно определить как ***технологическую процедуру в системе управления ЛТС, направленную на выбор среди множества альтернативных вариантов такого инженерно-геологического мероприятия (или их комплекса), применение которого необходимо и достаточно для обеспечения оптимального режима функционирования ЛТС.***

Эффективность и качество выработки управленческих решений определяются прежде всего обоснованностью методологии решения возникающих при функционировании ЛТС проблем, т.е. обоснованностью подходов, принципов, методов и технологий. Без хорошей теории практика малорезультативна. Однако в настоящее время к управлению ЛТС и ее компонентами, прежде всего геологической средой, применяют только некоторые научные подходы и принципы. Это можно объяснить в некотором смысле «узостью» цели управления геологической средой — обеспечения оптимального режима функционирования ЛТС.

Анализ теории и практики управления различными природными и природно-техническими системами позволяет установить необходимость применения в процессе выработки геологически обоснованных управленческих решений следующих основополагающих научных подходов: системного, ситуационного, динамического и сценарного.

Системный подход предполагает рассмотрение литотехнической системы как совокупности ее взаимосвязанных элементов (геологической и технической подсистем), обладающих благодаря их взаимосвязи качественно новыми характеристиками (причем каждая ЛТС выступает элементом системы более высокого порядка, а любой ее элемент — системой более низкого порядка).

Этот подход дает возможность учесть все необходимые взаимосвязи и взаимодействия в систе-

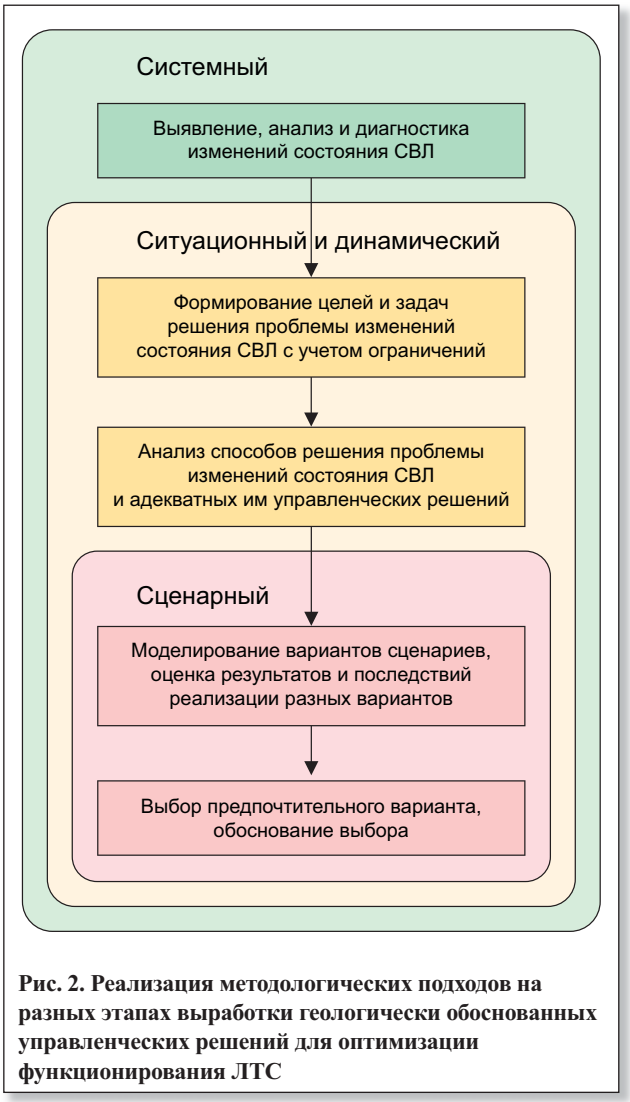


Рис. 2. Реализация методологических подходов на разных этапах выработки геологически обоснованных управленческих решений для оптимизации функционирования ЛТС

ме управления ЛТС и ее подсистемами, позволяет при постановке целей всесторонне анализировать, взвешивать факторы и направлять механизмы управления на достижение поставленных целей.

Одним из инструментов системного подхода, который, по мнению автора, следует применять при выработке управленческих решений, особенно на региональном уровне, является типизация ЛТС. В ее основу должны быть положены генетический подход, высокая степень детализации структуры, уровня организации и функционирования ЛТС, а также информация об управляющих взаимодействиях. Все эти сведения можно получить в процессе выполнения мониторинговых исследований ЛТС различного уровня. Примером является выполненная автором типизация литотехнических систем на территории Беларуси, в которой наряду с детальной характеристикой уровня организации и функционирования ЛТС приведены сведения об их компонентах, времени «жизни» и вероятных техногенных воздействиях на геологическую подсистему [11, 12]. Подобные типизации, которые, по существу, отражают системную природу ЛТС разного порядка и их элементов, способны создавать реальные предпосылки для эффективного управления этими системами.

Методологически системный подход следует применять на всех этапах обоснования управления ЛТС (рис. 2), поскольку выполнение каждого из них вне системы просто невозможно.

Ситуационный подход сосредоточивается на том, что обоснование различных методов управления ЛТС и ее компонентами, главным образом геологической средой, определяется конкретной ***ситуацией — совокупностью условий, возникающих под влиянием внутренних и внешних воздействий в некоторый момент времени.***

Основанием применения данного подхода в управлении ЛТС является «поведение» режима ее функционирования. Это обусловлено тем, что происходящие изменения параметров состояния литотехнической системы (или развитие инженерно-геологических процессов) на разных этапах ее существования могут быть как значительными, так и малозначимыми, иногда даже не поддающимися прогнозу. Последние, несмотря на свое «слабое» проявление, впоследствии способны оказать существенное влияние как на отдельные подсистемы ЛТС и их элементы, так и на всю систему в целом.

Подтверждением этому служат неизученные закономерности в функционировании локальных и региональных ЛТС, установленные автором с сотрудниками ранее [14, 15], заключающиеся в том, что в литотехнических системах, длительное время находящихся в критическом режиме работы, когда геологическая подсистема или ее отдельные компоненты подвержены значительному, но не превышающему технологический уровень воздействию со стороны технических объектов, возникают и активизируются новые инженерно-геологические процессы, ведущие к снижению этого воздействия.

Кроме того, существует довольно большое количество факторов, которыми можно управлять в системе мониторинга ЛТС. Среди них выделяют, например, граничные условия геологической среды (факторы, воздействующие на исследуемую часть геологической среды по ее внешним границам), начальные условия (факторы, рассредоточенные во внутренних точках геологической среды и действующие до начала развития процесса) и свойства геологической среды (характеристики геосреды, динамика которых изменяет назначаемые характеристики и определяет интенсивность развития инженерно-геологических процессов) [22].

Такое многообразие факторов, как правило, определяет отсутствие какого-либо единого с точки зрения эффективности способа управления состоянием ЛТС и ее элементов. Самым эффективным в каждой конкретной ситуации следует считать тот метод управления (или комплекс методов), который будет максимально адаптирован к данной ситуации, причем как в научно-техническом, так и в административно-экономическом отношении.

Ситуационный подход — это методология выработки управленческих решений, в соответствии с которой принимаемое решение формируется на основе как обработки располагаемой апостериорной (текущей) информации, так и накопленных ранее знаний и опыта путем выявления ограничений, переориентации целей, перераспределения

ресурсов, пересмотра алгоритмов и структуры литотехнической системы.

Данный подход ориентирует инженера-геолога на правильный анализ ситуаций и на эффективное использование своих возможностей исходя из накопленных опыта и знаний. При этом ***текущее состояние геологической среды рассматривается как некоторая ситуация, которую требуется распознать и правильно сориентировать в ней работу всей ЛТС.***

Применение ситуационного подхода в общей схеме выработки управленческих решений возможно в том случае, когда будут установлены (продиагностированы) природа возникшей проблемы, ее содержание, степень настоятельности, связь с другими проблемами, виды и масштабы обусловленных данной проблемой опасностей (см. рис. 2), т.е. будет определена конкретная проблемная ситуация со всеми вытекающими последствиями. Это позволяет грамотно сформулировать цели и задачи решения проблемы и на основе различных ограничений обозначить область допустимых решений, в пределах которой следует производить поиск вариантов, рассматриваемых на последующих этапах процесса принятия решений.

Динамический подход применяется в дополнение к ситуационному. При его использовании ***геологическая среда, как компонент ЛТС, рассматривается в ее диалектическом развитии, причинно-следственных связях и соподчиненности.*** Для этого проводятся ретроспективный анализ состояния геологической среды за определенный промежуток времени и прогнозная оценка ее дальнейшего развития.

Сценарный (поисковый) подход позволяет проводить многовариантный ситуационный анализ применения разнообразных методов управления (или мероприятий по управлению) ЛТС и ее компонентами с учетом возможностей и ограничений (рисков) каждого из них для обеспечения оптимального режима на всех этапах развития системы.

По существу, ***сценарий выступает в роли качественной и количественной оценки вероятного развития различных геологических и инженерно-геологических процессов, которые возникли или могут возникнуть в будущем при создании, эксплуатации или ликвидации ЛТС, и их влияния на состояние компонентов системы (прежде всего геологической среды) в случае использования какого-либо специального мероприятия или комплекса мероприятий.***

Среди разнообразных инструментов, применяемых в сценарном подходе, важное место занимает имитационное моделирование, которое широко используется в создании математических постоянно действующих моделей (ПДМ) геологической среды — частей автоматизированных информационных систем (АИС) или особых геоинформационных систем (ГИС) — для прогнозирования и анализа ее состояния. Использование подобных ПДМ наряду с основным их предназначением (решением инженерно-геологических и других задач, связанных с оценкой как природных, так и техногенных изменений геологической среды и ее компонентов, а также с прогнозом ее развития) позволяет создавать эффективные *системы выработки геологически обоснованных управленческих решений*, предназначенных для выполнения следующих задач: (1) прогнозирования и анализа последствий управленческих решений; (2) исследования эффективности и сравнения принимаемых мер (альтернатив); (3) выбора оптимального решения.

Следует отметить, что в настоящее время накоплен достаточно большой опыт создания математических ПДМ (ГИС) — как простых, так и весьма сложных — для литотехнических систем различных функциональных назначений и уровней организации, применение которых позволяет эффективно решать управленческие задачи по оптимизации работы данных систем [1, 20, 22, 24]. В качестве примера можно привести АИС ПДМ геологической среды юго-востока Беларуси [18], созданную под руководством В.Г. Жогло с участием автора настоящей статьи на базе ПЭВМ и предназначенную для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач (в первую очередь задач геофильтрации, миграции подземных вод и связанных с ними задач возникновения и развития инженерно-геологических процессов и явлений при функционировании ЛТС (ПТС) от элементарного до регионального уровней) методами математического моделирования с использованием программно-технического комплекса, включающего в себя системы специального программного обеспечения TopazHC [1], GWFS и MTS компании «Геолинк» [20] и MIG-2 [17].

Важным свойством ПДМ является циклический характер их функционирования: по мере поступления в АИС новые исходные данные загружаются в ПДМ, а на модели «проигрывается» новый вариант развития моделируемой системы (геологической среды), затем при поступлении новых исходных данных цикл повторяется и т.д. [21]. Это свойство ПДМ в системе выработки геологически обоснованных управленческих решений позволяет более эффективно, без существенных затрат времени и ресурсов, осуществлять поиск и формирование набора альтернативных решений рассматриваемой проблемы, соответствующих им управляющих воздействий и в результате производить выбор оптимального решения.

Следовательно, преимущество сценарного подхода будет заключаться в возможности заблаговременного выявления неэффективных с точки зрения последствий управленческих решений, разработки множества вариантов развития ситуаций и прогнозирования состояния геологической среды в каждой из них.

Методологически сценарный подход в общей схеме выработки управленческих решений используется на последних ее этапах (см. рис. 2), когда необходимо осуществлять поиск и формирование набора вариантных решений (альтернатив), отбор критериев выбора оптимального решения и в результате выбор и принятие наилучшего решения.

Заключение

В заключение отметим, что рассмотренные в работе методологические подходы тесно связаны между собой и образуют единую систему, которую, по мнению автора, следует рассматривать как общую методологическую основу для выработки геологически обоснованных управленческих решений по оптимизации функционирования ЛТС любого уровня организации. Их применение совместно с созданной АИС ПДМ геологической среды юго-востока Беларуси позволило автору с сотрудниками успешно реализовать ряд задач по инженерно-геологическому обоснованию управления такими ЛТС различных уровней, как административное здание жилищно-эксплуатационной службы в Минске [13], отвалы и промплощадка Гомельского химического завода [18, 19], водозаборы подземных вод г. Гомеля [18] и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированные сеточные модели бассейнов подземных вод / состав. И.И. Крашин, Е.А. Полшков, Е.К. Орфаниди и др. М.: Недра, 1992. 176 с.
2. *Бондарик Г.К.* Диагностика и прогнозирование состояния неоднородных природных и природно-технических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 1. С. 78–79.
3. *Бондарик Г.К.* Управление природно-техническими системами. Возможности и ограничения // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1994. № 1. С. 42–47.
4. *Бондарик Г.К.* Экологические проблемы и природно-технические системы. М.: Икар, 2004. 152 с.
5. *Бондарик Г.К.*, *Иерусалимская Е.Н.*, *Ярг Л.А.* Научные основы информационного обеспечения управления состоянием окружающей среды на региональном уровне // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 74–80.
6. *Бондарик Г.К.*, *Иерусалимская Е.Н.*, *Ярг Л.А.* Теоретические основы и принципы организации мониторинга геологической среды природно-технических систем регионального уровня // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 3. С. 45–50.
7. *Бондарик Г.К.*, *Чан Мань Л.*, *Ярг Л.А.* Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. 259 с.
8. *Бондарик Г.К.*, *Ярг Л.А.* Инженерно-геологические изыскания: учебник. М.: КДУ, 2008. 424 с.
9. *Бондарик Г.К.*, *Ярг Л.А.* Природно-технические системы и их мониторинг // Инженерная геология. 1990. № 5. С. 3–9.
10. *Галкин А.Н.* Методические основы оценки режима функционирования литотехнических систем // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2009. № 4. С. 46–50.
11. *Галкин А.Н.* Типизация литотехнических систем: состояние проблемы и пути ее решения // Инженерная геология. 2009. № 3. С. 30–33.
12. *Галкин А.Н.* Особенности формирования природно-технических систем на территории Беларуси и их типизация // Літасфера. 2008. № 1 (28). С. 126–140.
13. *Галкин А.Н.*, *Жогло В.Г.*, *Ковалева А.В.* Инженерно-геологические аспекты управления состоянием подземных вод при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений на примере г. Минска // Инженерная геология. 2008. № 4. С. 74–80.
14. *Галкин А.Н.*, *Жогло В.Г.*, *Ковалева А.В.* Об изменении условий питания и разгрузки подземных вод при их эксплуатации (на примере юго-востока Беларуси) // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2010. № 2. С. 115–128.
15. *Галкин А.Н.*, *Степин С.Г.*, *Жогло В.Г.* Сероводородное загрязнение подземных вод в районе Гомельского химического завода // Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 46–48.
16. *Ганова С.Д.* Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне (теория, методология, практика) / автореф. дис. … д-ра геол.-минер. наук: 25.00.36. М.: Изд-во РГГРУ, 2008. 43 с.
17. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ: учебное пособие / под ред. Р.С. Штенгелова. М.: Изд-во МГУ, 1994. 335 с.
18. *Жогло В.Г.*, *Галкин А.Н.* Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси. Витебск: Изд-во ВГУ, 2008. 161 с.
19. *Жогло В.Г.*, *Галкин А.Н.*, *Ковалева А.В.* Особенности создания системы инженерной защиты геологической среды от негативных техногенных процессов в районе Гомельского химического завода // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2009. № 4. С. 298–310.
20. *Зеегофер Ю.О.*, *Клюквин А.Н.*, *Пашковский И.С.*, *Рошаль А.А.* Постоянно действующие модели гидролитосферы территорий городских агломераций (на примере Московской агломерации). М.: Наука, 1990. 198 с.
21. *Королев В.А.* Мониторинг геологической среды: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
22. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова. М.: КДУ, 2007. 416 с.
23. *Королев В.А.* Основные принципы организации мониторинга геологических, литотехнических и эколого-геологических систем // Инженерная геология. 2007. № 4. С. 24–29.
24. *Кульбеда И.П.*, *Черепанский М.М.* Применение численных методов моделирования при прогнозе водного режима карьера «Гралево» и окружающей территории // Тезисы докладов Республиканского научно-технического семинара «Оценка влияния хозяйственной деятельности на геологическую среду». Минск, 1990. С. 95–96.
25. *Невечеря В.А.*, *Подборская В.О.* Разработка принципов и создание системы управления режимом функционирования памятников Белозерья (на примере Кирилло-Белозерского монастыря) // Кириллов: краеведческий альманах / гл. ред. Ф.Я. Коновалов. Вып. 2. Вологда: Русь, 1997. Диск 005.
26. *Трофимов В.Т.* Актуальные вопросы геологического обоснования управления эколого-геологическими системами // Труды Международной научной конференции «Актуальные вопросы инженерной геологии и экологической геологии». Москва, 25–26 мая 2010 г. / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 235–238.
27. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология: учебное пособие. М.: Геоинформмарк, 2002. 415 с.
28. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др.* Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.
29. *Фатхутдинов Р.А., Райзберг Б.А.* Общая схема выработки и принятия управленческих решений // Менеджмент и менеджер. 2009. № 5–6. С. 6–9.

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@pniiis.ru

ШТАМПЫ ДЛЯ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

ОАО ПНИИИС

Штампы относятся (согласно ГОСТ 20276-99) к III типу и предназначены для проведения полевых испытаний с целью определение модуля деформации грунтов в условиях их естественного залегания. Модуль деформации определяется по результатам нагружения грунта вертикальной нагрузкой в скважине. В процессе проведения опыта давление в нагрузочной системе регулируется электронным контроллером, показания датчиков перемещений и силы записываются во внутреннюю память или передаются на внешний компьютер в режиме реального времени. Результаты испытаний оформляются в виде графиков и таблиц.

Общий вид штампов с максимальным давлением на грунт 15 кгс/см² и 6 кгс/см²

Состав комплекта:

1. Штамп с плоской подошвой 600 см².
2. Рама.
3. Пневмоцилиндр и пневмомагистрали.
4. Релерная система.
5. Блок управления.
6. Ресивер с редуктором.
7. Датчики перемещений.
8. Датчик силы.
9. Регулировочный винт.
10. Винтовые анкеры.
11. Программа для обработки результатов.

Технические характеристики:

Диаметр штампа	277 мм
Максимальное давление на грунт (3 модификации)	6, 10, 15 кгс/см²
Максимальный ход пневмоцилиндра	100 мм
Максимальная глубина испытания (3 модификации)	10, 20, 30, м
Тип нагрузочной системы	пневматическая
Максимальное давление в нагрузочной системе	1000 кПа
Погрешность измерения перемещений	0,1 мм
Диапазон рабочих температур	-20°С : +50°С

ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве»
Адрес: 105187, Москва, Окружной проезд, д. 18
Телефон/факс: (495) 366-31-89, 366-36-89
Сайт: www.pniiis.ru

Реклама