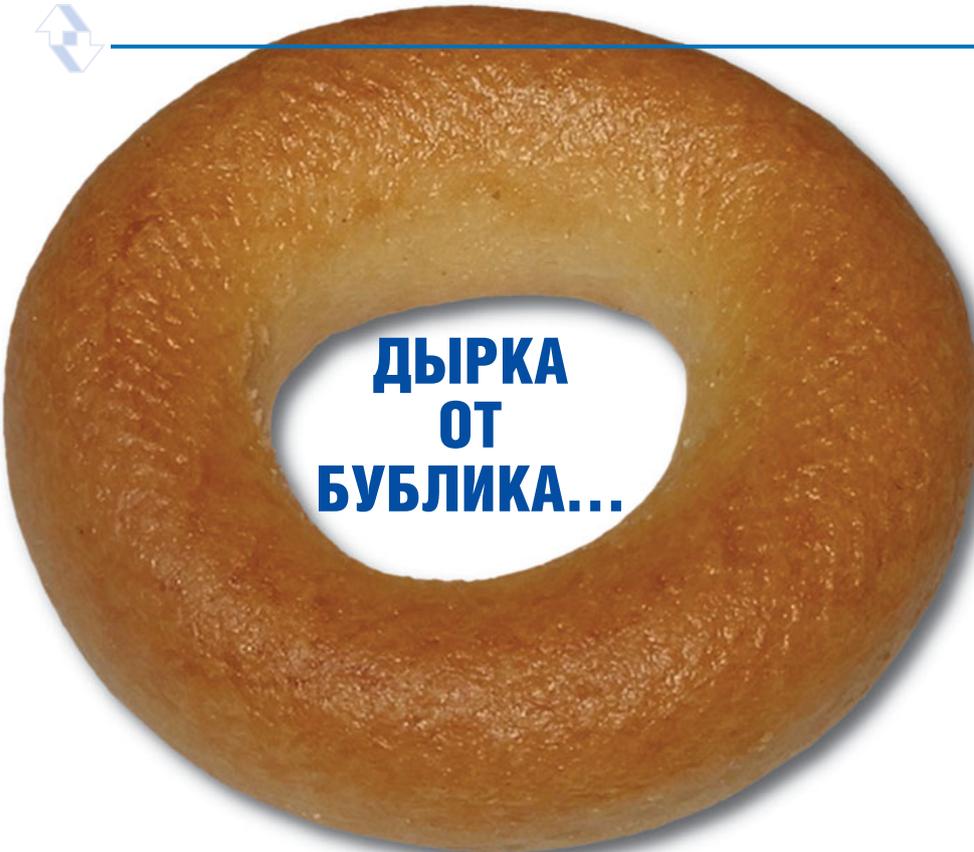


журнала		ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ				
Издательство		Геомаркетинг				
Год выпуска	2013	Том		Номер выпуска	5	
Название статьи					Страницы	Цит.
	КОЛОНКА М.И. БОГДАНОВА				4-6	0
ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ						
	ПРОФЕССОР АНАТОЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ЛАРИОНОВ (1916-1989) Шибаква В.С.				8-15	1
	ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» И ФАКТОРОВ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ Трофимов В.Т., Красилова Н.С.				16-21	1
ГРУНТОВЕДЕНИЕ						
	ВЛИЯНИЕ ТИПА СТРУКТУРЫ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ Горбунова А.С., Вознесенский Е.А.				22-33	1
	ИНДУКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПРОСАДОЧНОСТИ Мокрицкая Т.П.				34-38	0
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ						
	ЗАЩИТА ФЕДЕРАЛЬНОЙ ДОРОГИ «АМУР» (ЧИТА-ХАБАРОВСК) ОТ ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНОГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В.				40-47	0
	ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ТРАССЫ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ТУОРА КЮЕЛЬ — ТАТТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ Сальва А.М.				48-51	0
РЕГИОНАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ						
	ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРИТНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ДОЛЕРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПРОВИНЦИИ БОКЕ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ Кузин С.В.				52-57	0
	О СВЯЗИ КРУТИЗНЫ ПРИРОДНЫХ ОТКОСОВ С ОСОБЕННОСТЯМИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВОВ ФЛИША СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА Семенов А.Ю.				58-62	1
ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГРУНТОВ						
	ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНО- ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ «СУПЕРГУМУСА» Мавлянов Г.Н.				63-67	0



ДЫРКА ОТ БУБЛИКА...

...ИЛИ НАЦИОНАЛЬНЫЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ, КОТОРЫХ НЕТ, И ГРАБИТЕЛИ, КОТОРЫЕ ЕСТЬ

12 декабря состоится съезд НОИЗ. Мы вновь в очередной раз наблюдаем парад глупостей, накопленных в системе саморегулирования в строительстве. В очередной раз Президент НОИЗ Леонид Кушнир будет рассказывать присутствующим, как все замечательно в саморегулировании, несмотря на отдельные выявленные недостатки, а явно не довольные им представители изыскательских СРО, как будто зомбированные, с привычным неудовольствием будут вновь и вновь поддерживать его предложения. Ситуация удивительная! Большая часть изыскателей хочет перемен. Но Президент НОИЗ с невероятной легкостью дает слово уйти со своего поста и с невероятной легкостью забирает это слово обратно. Хозяин слова. Ведь быть Президентом НОИЗ выгодно! Может быть, те 600 миллионов рублей заказов на те 20 с небольшим человек производственного персонала, которые получает организация, возглавляемая Кушниром, может быть это никак не связано с его НОИЗовской должностью (обычно выработка на одного сотрудника изыскательской организации не превышает 2 миллиона рублей в год). Но есть еще заработная плата Президента НОИЗ. Есть еще что-то... Позиция Президента НОИЗ удобна во всех отношениях...

Перед съездом изыскательские СРО, ожидающие и желающие перемен, уже начали тихонько обсуждать «инновационные» методы освобождения должности Президента НОИЗ от Кушнира. А что если сделать его Почетным Президентом? А что, если предложить ему уйти добровольно и тогда назвать Почетным? Пожизненно? Ну а что, если еще ему предложить ежемесячно платить

50% от его заработной платы как Президента НОИЗ? Может, уйдет? А что, если пообещать, что даже в случае его смерти, семья будет вечно получать эти 50%? Ну или не вечно. Ограничить выплаты, скажем, 2080 годом? Может быть тогда, может быть тогда он уйдет? Подобные робкие обсуждения бизнесменов от саморегулирования позволяют задать вопрос: уж не овладел ли Леонид Григорьевич и в самом деле технологией массового гипноза, да так, чтобы люди, вроде разумные, добровольно могли сами себя так унижительно сечь плетьюми... Как в бане веничком... Наддай пару... Уххх... Забирает...

Удивительно... Дико...

Уже многие члены НОИЗ, этой организации, имеющей **обязательное** членство — НП СРО «АИИС», НП СРО «Объединение инженеров изыскателей», НП СРО «Национальный альянс изыскателей «Геоцентр», НП СРО «СтройПартнер», НП «ГеоИндустрия» — они, члены НОИЗ, вынуждены отбиваться от НОИЗ в суде. НОИЗ вновь и вновь собирает с помощью судебных приставов взносы с изыскательских СРО. При этом НОИЗ прежде всего сражается с крупными СРО, которые НОИЗ хочет «доить», а они, почему-то, этого не хотят. Не хотят быть бесправными, взаимодействующими только по одному вопросу с Национальным объединением — выплаты оброка под названием членские взносы. «Отдаиваются» крупные СРО. НП СРО «АИИС» объединяет около 2000 изыскателей, НП СРО «Объединение инженеров изыскателей» и НП СРО «СтройПартнер», насколько можно судить по их сайтам, более 1000 каждая. Получается, из имеющихся в стране 8000 изыскательских орга-



низаций более половины уже ощутили свое зависимое положение от «владельцев» НОИЗ, которые многими воспринимаются как «грабители в законе». На мой взгляд, уже можно говорить о том, что в существующем виде национальные объединения в строительстве полностью себя дискредитировали. Говоря об этом, должен отметить, что ключевыми словами фразы выступает словосочетание «в существующем виде», поскольку сама идея национальных объединений с **добровольным** членством является разумной и верной. Проблема заключается в том, что при создании национальных объединений саморегулирования первоначально была использована неправильная модель, при том, что по неверной модели, основанной на юридическом лице как на первичном объекте регулирования, создавались и сами саморегулируемые организации. Национальные объединения саморегулируемых организаций должны были бы создаваться как **добровольные** организации, которые помогают саморегулируемым организациям сообща решать те или другие стоящие перед ними задачи. Но это, если мы говорим о том, как правильно создавать национальные объединения. В ситуации, когда предусмотрено **обязательное** членство СРО в национальных объединениях, а сама система саморегулирования не работоспособна, национальные объединения в строительстве напоминают старших по бараку в ГУЛаге, которые призваны обеспечить послушание других заключенных для лагерного начальства. Если что не так, старшие по бараку сами и воспитают. Все объяснят. Доходчиво. Понятно. Доступно для понимания. Строительная отрасль плохо написанным законом была загнана в систему заведомо не работающего саморегулирования. Этаким мини ГУЛаг.

Национальные объединения стали весьма эффективной и весьма вредной прокладкой между государственной властью и профессиональным сообществом, прокладкой, которая не допускает возможности того, чтобы профессионалы, стремящиеся донести до власти понимание глубины кризиса в отрасли, такой шанс даже получили. Национальные объединения яростно бьются за свое выживание, отбиваясь от своих же членов, отбиваясь от тех, кто не хочет видеть над собой диктаторов с правом грабителя, правом отбирания денег, предоставленным им этим откровенно плохо написанным федеральным законом. История знает, что диктатура никогда не бывает вечной. Порабощенные всегда будут пытаться поднимать восстание. И эти восстания будут успешными, чуть раньше или чуть позже. Это неизбежно. Саморегуляторы иногда с укоризной нам говорят, что не надо раскачивать лодку. Не надо раскачивать лодку, в которой плывешь. Но мы не плывем в этой лодке «Саморегулирование», мы занимаемся своей профессиональной деятельностью — изысканиями, проектированием, строительством! Наша профессиональная лодка — это сфера нашей профессиональной деятельности. На нас на-

клеили надпись «Саморегулирование в строительстве», но это ничего не меняет — только лишнее беспокойство, лишние расходы. Лишняя наклейка. Мы понимаем, что мы должны продолжать «поднимать восстание».

17 сентября 2013 года мы напечатали в газете «Коммерсантъ» открытое письмо Председателю Правительства Д.А. Медведеву. 8 октября на совещании в Минрегионе мы четко сформулировали положение о том, что в существующем виде Госстрой России не может более существовать и предложили рассмотреть вопрос о целесообразности его сохранения. Когда 1 ноября 2013 года вся страна узнала, что появилось новое министерство строительства, мы понимали, что в этом есть и наш вклад. Мы раскачали эту лодку.

Мы недавно обратились к изыскательским СРО с призывом, формально соблюдая требования закона о существовании национального объединения изыскателей с **обязательным** членством, фактически уничтожить его. Мы предложили вместо Кушнира избрать Президентом НОИЗ их уборщицу туалетов, установив при этом обязательный для СРО членский взнос в НОИЗ в размере, достаточном для того, чтобы уборщица могла получать свою зарплату и оплачивать аренду офиса размером 5–6 кв.м. Можно арендовать общественный туалет для офиса НОИЗ с **обязательным** членством. Двойное назначение. В НОИЗ и в туалет люди ходят по нужде.

При этом, параллельно с де-факто уничтожением НОИЗа, необходимо создавать некую иную структуру, объединяющую изыскательские СРО с **добровольным** членством. Отсутствие обязательного членства, отсутствие требования об оплате членских взносов (которые, еще раз, мы воспринимаем не иначе, как поборы со стороны НОИЗ) — это будет вынуждать добровольное национальное объединение делать что-то на самом деле полезное для своих членов. Делаешь полезное — получи деньги. Не делаешь — тогда ты просто не нужен. Отдыхай. Но без денег. Мы предлагаем создать национальное объединение, основанное на демократических принципах. Сейчас у нас в НОИЗ практически диктатура. Тот или иной диктатор, на самом деле, не важно. Кушнир или любая другая фамилия. Мы хотим демократию. Демократия — это не очень страшно. Не сомневаюсь, что перемен мы добьемся. Не исключено, что в борьбе с национальными объединениями придется уничтожить все саморегулирование в строительстве. Ну что же... Если это будет единственным способом освобождения от диктатуры национальных объединений, мы выберем именно его, поскольку саморегулированию для нас — это не лодка, на которой мы плывем, а всего лишь очередная наклейка на нашей лодке, на настоящем. К сожалению, большая часть тех, кто является делегатами и кто выступает на съездах национальных объединений — это люди, для которых саморегулирование — бизнес. Им безразлично состояние отрасли. Им важно сохранить их бизнес.



«Владельцы» СРО. Именно этих людей мы призываем понять нашу позицию, приводя те доводы, которые им должны быть понятны. Если вы добровольно не уничтожите **обязательное** членство саморегулируемых организаций в национальном объединении, мы добьемся ликвидации всего так называемого «саморегулирования» в строительстве, добьемся ликвидации вашего бизнеса. Думайте сами, решайте сами.

Мы продолжаем предлагать следующие шаги по изменению ситуации в отрасли, в основном сформулированные нами на совещании в Минрегионе 8 октября 2013 года:

1. Обеспечение открытости в саморегулировании в строительстве.

Необходимо обеспечить размещение и постоянное обновление на сайте всех изыскательских СРО информации о количестве членов, которые были приняты в СРО, которые имеют действующие допуски СРО, которые были исключены из СРО, открытый реестр членов СРО (без необходимости вводить дополнительную информацию о члене СРО для его поиска), информацию о размере компенсационного фонда, где, в каких банках или инвестиционных компаниях (с указанием номера счета) и под какой процент размещен компенсационный фонд, информацию о размере оплаты членов коллегиального органа управления СРО за каждый год существования организации. Информация о компенсационном фонде должна подтверждаться письмом из банка, копии которых размещаться на сайте СРО. Вся информация о компенсационном фонде и письмо банка должны обновляться СРО один раз в три месяца с указанием даты обновления и сохранением на сайте предыдущей информации. Необходимо создать при федеральном органе исполнительной власти, отвечающем за ведение реестра СРО, единый открытый реестр членов СРО и единый открытый реестр специалистов, сведения о которых были предоставлены членами СРО при получении допуска.

2. Обеспечение профессионализма и коллегиальности в управлении СРО.

Необходимо установить и обеспечить соблюдение требования о том, что члены коллегиального органа управления СРО могут быть членами коллегиального органа управления только одной саморегулируемой организации (независимо от сферы деятельности других СРО — невозможно профессионально руководить СРО изыскателей, пожарных и оценщиков одновременно), количество членов коллегиального органа управления СРО должно быть не менее 7, не менее 6 членов коллегиального органа управления СРО должны отвечать минимальным требованиям, предъявляемым к специалистам (по образованию и стажу работы по специальности) для получения допуска. Необходимо ввести требование о том, что одно физическое лицо может выполнять обязанности единоличного органа управления только в одной СРО.

3. Обеспечение соблюдения действующего законодательства и пресечение нарушений уголовного законодательства в деятельности СРО.

Необходимо создать межведомственную рабочую группу под руководством Минстроя, которая будет включать в себя представителей Ростехнадзора, МВД, Генеральной прокуратуры, Следственного комитета, для проверки, с привлечением экспертов, тех СРО, которые наиболее вероятно допускают нарушения законодательства. Выявление таких СРО может быть в минимальные сроки проведено путем анализа объявлений о продаже допусков СРО в Интернет.

4. Обеспечение функционирования механизма самоочистки СРО.

Необходимо законодательно разрешить переход члена СРО (вместе со своим взносом в компенсационный фонд) в другую СРО, если принимающая СРО готова принять его в свои члены и принять на себя ответственность за ранее выполненные им работы.

5. Обеспечение независимости изыскательских СРО от крупных компаний или региональных органов власти, обеспечивших их формирование.

Необходимо установить минимальное количество членов в изыскательских СРО не менее 250 (подход, совпадающий с политикой ЦБ по укрупнению банков).

6. Обеспечение возможности СРО представлять различные точки зрения при диалоге с органами власти и минимизация конфликтной ситуации в профессиональной среде изыскателей.

Необходимо принять решение об отмене требования об обязательном членстве саморегулируемых организаций в Национальных объединениях. Надо начать создание добровольного объединения изыскательских СРО. Нужно обеспечить совместно с Минстроем и Минрегионом продвижение профессиональным сообществом объединения физических лиц «Союз изыскателей».

7. Обеспечение эффективности государственного регулирования в сфере строительства.

Необходимо передать полномочия, относящиеся к строительной отрасли, от Ростехнадзора и Росаккредитации в Минстрой.

P.S.

Саморегуляторы! Эй, вы! Эй, вы, там в лодке! Вы нас слышите? Ого-го-го! Вы нас слышите? Ого-го-го! Ваша лодка тонет! Не слышите? Вы нас не слышите? Мы пытались докричаться... Тогда... Тихо плещется река Интернет. Струится вода. Мы пытались докричаться, нарушая покой. Нас не слышат... Новый звук появляется в ночи. Лодка почти уже тонет... Буль-буль-буль... Гулкое «буль» разнесется ночью над тихой заводью реки Интернет. Это была лодка «Саморегулирование»... 🐟

М.И. Богданов

ПРОФЕССОР АНАТОЛИЙ КОНСТАНТИНОВИЧ ЛАРИОНОВ (1916–1989)

PROFESSOR ANATOLIY KONSTANTINOVICH LARIONOV (1916-1988)

ШИБАКОВА В.С.

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

Ключевые слова:

А.К. Ларионов; Научный совет АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии; лесссы; лессовая комиссия.

Аннотация

Данная публикация продолжает серию статей В.С. Шibaковой о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии и об ученых, которые были с ним связаны. Она посвящена профессору Анатолию Константиновичу Ларионову (1916–1989), который был одним из ведущих специалистов Советского Союза по изучению лессов и председателем лессовой комиссии совета.

Abstract

This publication continues the series of articles by V.S. Shibakova about the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology and about scientists who were associated with it. The paper is devoted to professor Anatoliy Konstantinovich Larionov (1916–1989) who was one of the leading specialists of the Soviet Union on investigation of loesses and the chairman of the loess commission of the council.

SHIBAKOVA V.S.

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

Key words:

A.K. Larionov; Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology; loesses; loess commission.

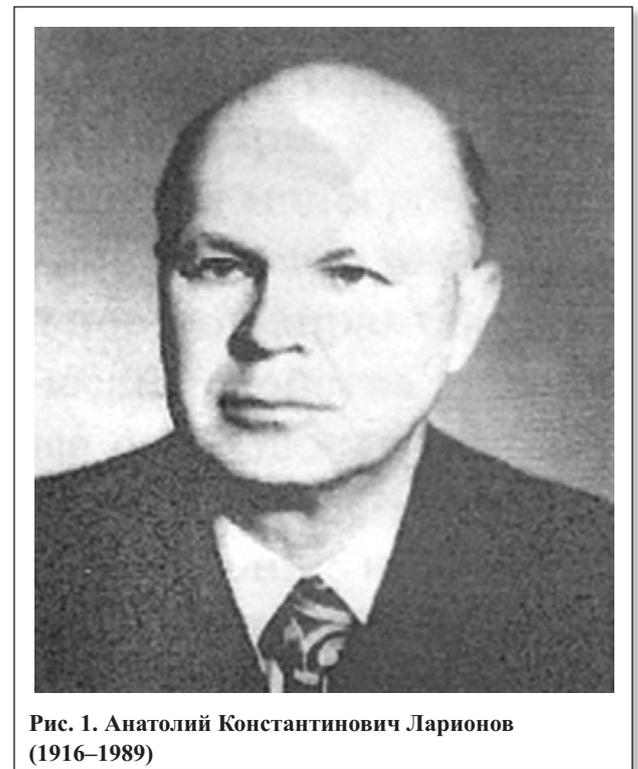


Рис. 1. Анатолий Константинович Ларионов (1916–1989)

Анатолий Константинович Ларионов принадлежит к славной плеяде ученых, внесших большой вклад в развитие инженерной геологии как фундаментальной науки. Он также широко известен как деятель советской высшей школы, крупный педагог и организатор науки. Научно-организационная деятельность Анатолия Константиновича в Научном совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (позже — и гидрогеологии) в качестве председателя лессовой комиссии была ознаменована успешным проведением координации научных исследований в Советском Союзе по лессовой тематике на региональном и межведомственном уровнях. А.К. Ларионов известен также как популяризатор геологической науки.

Анатолий Константинович родился в Петрограде в 1916 году. Высшее образование он получил в Ростовском инженерно-строительном институте (РИСИ) на



геолого-почвенном факультете, который окончил в 1938 году. Затем как молодой специалист он работал инженером-геологом в строительных организациях.

А.К. Ларионов участвовал в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг. После войны он пришел работать в РИСИ, где в течение ряда лет проводил исследования и в 1951 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. В 1956 году Анатолий Константинович защитил в МГУ докторскую диссертацию по лессовым породам юга РСФСР. В те годы его исследования были связаны с изучением свойств лессовых пород в связи со строительством Волго-Донского судоходного канала и Цимлянского водохранилища.

В 1959 году А.К. Ларионов в соавторстве с В.А. Приклонским и В.П. Ананьевым опубликовал крупную научную монографию «Лессовые породы СССР и их строительные свойства», в которой впервые с позиций инженерной геологии были обобщены материалы по лессовой тематике, имевшиеся в то время в СССР и за рубежом. Эта работа широко цитируется в отечественной литературе. Одновременно с научной работой Анатолий Константинович участвовал в педагогическом процессе, заведовал кафедрой инженерной геологии РИСИ.

В 1957 году профессор А.К. Ларионов был приглашен на работу в Воронежский инженерно-строительный институт (ВИСИ), где он некоторое время занимал должность ректора института, а затем заведовал кафедрой инженерной геологии, руководил созданием проблемной лаборатории «Строительство сооружений на лессовых породах», которая была оснащена современным оборудованием, позволявшим не только исследовать свойства лессовых грунтов, но и выполнять уникальные научные эксперименты по изучению структуры грунтов в процессе деформаций уплотнения и сдвига. В ВИСИ началось издание сборников научно-технической информации этой лаборатории, в которых публиковались труды ее сотрудников. В 1963 году вышла работа А.К. Ларионова в соавторстве с С.М. Масловым «Исследование перемещения зоны смачивания в лессовых грунтах методом киносъёмки». В 1961 году Анатолий Константинович совместно с В.П. Ананьевым опубликовал учебник для строительных вузов «Основы минералогии, петрографии и геологии», широко использовавшийся в учебных процессах в ВИСИ и РИСИ. В 1969 году этот учебник был переиздан.

За время работы в Воронежском инженерно-строительном институте А.К. Ларионов подготовил 10 кандидатов наук. Он активно проводил научную работу. Его публикации того периода были посвящены широкому кругу вопросов: характеру распределения карбонатов в лессовых породах, влажности грунтов и современным методам ее определения, применению капельного метода при структурных исследованиях грунтов, инженерно-геологическому расчленению лессовых толщ юга Украины и Северного Кавказа, ползучести скелета и длительной прочности глинистых грунтов, электронно-микроскопическим исследованиям лессовых пород, изучению плотности и структуры грунтов методом рентгенографии. Анатолий Константинович был одним из ведущих ученых в стране по изучению лессов, его работы широко цитировались, с ним консультировались по разным вопросам. Данные исследований А.К. Ларионова по свой-

ствам и классификации лессовых пород вошли в классический учебник Е.М. Сергеева «Грунтоведение».

О личных встречах с Анатолием Константиновичем в этот период времени мне рассказала ученица Е.М. Сергеева, старейшая сотрудница кафедры инженерной и экологической геологии Московского государственного университета (МГУ) Антонина Сергеевна Герасимова. В начале 1960-х годов она вместе с доцентом С.Н. Максимовым бывала у А.К. Ларионова в г. Воронеже, обсуждая важный вопрос строения лессовых пород г. Красноярск. В то время сотрудники кафедры грунтоведения и инженерной геологии МГУ активно работали в Красноярском крае, выполняя хозяйственные работы с Министерством геологии РСФСР по проведению мелкомасштабной инженерно-геологической съемки на юге этого региона и инженерно-геологической съемки среднего масштаба в г. Красноярске и на прилегающей к нему территории. Проблема, с которой столкнулись московские специалисты, до тех пор не встречалась в их практике. Лессовые породы района г. Красноярск характеризовались наличием крупных пустот, в десятки раз превышавших по размеру самые крупные макропоры, что совершенно нехарактерно для типичных лессов. Возник вопрос их классификации. Руководитель этих работ Е.М. Сергеев направил в г. Воронеж на консультацию к А.К. Ларионову как крупнейшему специалисту по лессам С.Н. Максимова и А.С. Герасимова. Антонина Сергеевна вспоминала, что, беседуя с А.К. Ларионовым на кафедре инженерной геологии ВИСИ и у него дома, она была поражена какой-то особой творческой атмосферой, которая проявлялась не только в научно-техническом оснащении лабораторий возглавляемой им кафедры, но и в обстановке его квартиры. Во всем чувствовалось, что Анатолий Константинович живет инте-



Рис. 2. Участники Первого конгресса МАИГ. Слева направо: А.К. Ларионов, В.С. Шибакова, И.А. Печеркин, П.Н. Панюков, А.Г. Лыкошин (г. Париж, 1970 г., фото Ф.В. Котлова)



Рис. 3. Рабочий момент научного совещания «Рациональное использование земной коры». Слева — Е.М. Сергеев, справа — А.К. Ларионов (г. Москва, МГУ, 1972 г., фото В.И. Васильева)

ресами науки. Он помог московским ученым в решении вопроса, предложив вполне обоснованное объяснение вышеуказанного феномена с позиций генезиса отложений, что позволило классифицировать породы г. Красноярска как лессовые отложения со специфическими свойствами, которые сформировались в условиях второй надпойменной террасы долины палеореки Пра-Енисей, что и обусловило возникновение пустот. Антонина Сергеевна отметила такую характерную черту личности Анатолия Константиновича, как большая проницательность: «Было такое ощущение, что он видит человека насквозь и либо дружески его принимает, либо отстраняется от общения с ним». Большое впечатление на А.С. Герасимову произвела жена А.К. Ларионова Ирина Викторовна: «Было очевидно, что она посвятила себя служению мужу, сознавая и ценя его научное предназначение, создавая ему благоприятные условия для жизни и работы». В доказательство справедливости этой



Рис. 4. Рабочий момент научного совещания «Рациональное использование земной коры». Слева направо: И.М. Буачидзе, А.К. Ларионов, А.В. Сидоренко (г. Москва, МГУ, 1972 г., фото В.И. Васильева)

оценки приведу следующий пример: в предисловии к своей монографии 1971 года «Методы исследования структуры грунтов» Анатолий Константинович писал, что «считает своим приятным долгом поблагодарить И.В. Ларионову за помощь, оказанную при подготовке рукописи к печати». Подготовка рукописи (включавшей 31 таблицу, 44 рисунка, 78 библиографических наименований) в отсутствие компьютерной техники в те годы была весьма сложным и трудоемким делом, которое было вполне по плечу Ирине Викторовне.

В 1964 году А.К. Ларионов был приглашен на работу в Ленинградский государственный университет (ЛГУ) на вакантную должность заведующего кафедрой грунтоведения (после скоропостижной кончины П.О. Бойченко). Это была первая в стране кафедра грунтоведения, основанная в 1929 году. У истоков ее создания стоял член-корреспондент АН СССР П.А. Землячченский. Позднее в ее развитие внес свой вклад его талантливый ученик В.В. Охотин. В составе кафедры в разное время работали и читали на ней учебные курсы крупнейшие ученые страны Н.Н. Иванов, М.И. Сумгин, Н.А. Цытович. Там же впервые в СССР начал преподаваться курс мерзлотведения. Эта кафедра была известна во всей стране.

Однако вскоре произошло непредвиденное событие — кафедра грунтоведения ЛГУ была ликвидирована как самостоятельная единица и присоединена к кафедре гидрогеологии того же университета. Еще раньше, в 1961 году, была ликвидирована Лаборатория гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского АН СССР, в которой имелся сильный коллектив ученых и успешно проводились фундаментальные исследования в области инженерной геологии. В 1964 году была сделана попытка дискриминации инженерной геологии как фундаментальной науки в системе высшей школы — а именно был поставлен вопрос о выведении из МГУ кафедры грунтоведения и инженерной геологии и передачи ее в строительный вуз. Однако этого не произошло благодаря сильному отпору коллектива геологического факультета МГУ и его декана Е.М. Сергеева. Положение в Ленинградском университете оказалось более сложным. Ситуация, возникшая в связи с ликвидацией кафедры грунтоведения ЛГУ, потребовала энергичных и ответственных усилий от А.К. Ларионова, вступившего в борьбу за ее восстановление. Анатолий Константинович был очень деятельным человеком — он обратился за помощью к ведущим ученым страны, имевшим авторитет в научных кругах, и заручился их поддержкой. Среди поддержавших его были Е.М. Сергеев (МГУ), В.Д. Ломтадзе (Ленинградский горный институт — ЛГИ), В.П. Ананьев (РИСИ). Борьба продолжалась около трех лет. Содружество ученых сыграло свою роль — в 1967 году по приказу Министерства высшего и среднего специального образования СССР кафедра была восстановлена в качестве самостоятельной единицы. «В связи с тем что грунтоведение вошло в цикл наук, объединенных инженерной геологией, кафедра расширила профиль подготавливаемых специалистов и получила новое наименование — кафедра грунтоведения и инженерной геологии». А.К. Ларионов способствовал не только восстановлению ленинградской кафедры, но и предотвращению дальнейших попыток закрытия кафедр этого профиля в других университетах страны.



Описанные события были мне хорошо известны, так как в те годы (1964–1967 гг.) я училась в аспирантуре на геологическом факультете МГУ и принимала непосредственное участие в их обсуждении.

А.К. Ларионов более 10 лет успешно руководил кафедрой грунтоведения и инженерной геологии ЛГУ. Затем он лично подобрал себе преемника и в 1979 году оставил должность заведующего кафедрой, оставаясь ее профессором вплоть до своей кончины. Ленинградский период работы Анатолия Константиновича хорошо оценен его сотрудниками и последователями. В.Г. Зайончек, являющийся заведующим кафедрой грунтоведения и инженерной геологии ЛГУ в настоящее время, и ее старейший сотрудник В.А. Усов подчеркивают следующее: «А.К. Ларионов проявил себя не только как выдающийся ученый, внесший серьезный вклад в инженерную геологию, но и как организатор и практик учебного процесса. Научные интересы А.К. Ларионова охватывали практически все области инженерной геологии, в т.ч. наиболее передовые, в которых использовались современные методики исследования грунтов. А.К. Ларионов провел серию организационных преобразований в направлении более самостоятельной работы кафедры, повышения ее авторитета на факультете. При нем был расширен круг научно-исследовательских и производственных хозяйственных работ, сотрудники были вовлечены в важные и ответственные инженерно-геологические изыскания (на трассах магистральных газопроводов “Уренгой — Центр”, на Колымской ГЭС и др.), одновременно углублялись методики изучения состава и свойств грунтов в лабораториях кафедры. Основная монография А.К. Ларионова “Инженерно-геологическое изучение структур рыхлых осадочных пород” (1966 г.) стала этапной работой нового направления в грунтоведении, исследующего физико-механические свойства грунтов в связи с их тонким строением. Структурные особенности рыхлых отложений рассматриваются в этой монографии в качестве результата их формирования (так называемого генетического развития) и в тесной связи с их химико-минералогическим и фазовым составом. В 1971 году появилась новая работа — “Методы исследований структуры грунтов”. Она развивала представления автора и одновременно послужила серьезным учебным пособием для студентов”. Этот период жизни А.К. Ларионова также был отмечен выпуском двух сборников трудов кафедры — первого и второго выпусков «Грунтоведения и инженерной геологии» (1976 и 1980 гг. соответственно).

А.К. Ларионов был скрупулезным исследователем, умел правильно сформулировать проблему и найти методы ее решения. Он создал ряд собственных методик проведения экспериментов, выполнял оригинальные испытания образцов различных пород и получал новые результаты. Публикации Анатолия Константиновича были востребованы и не утрачивали своей актуальности многие годы. Ниже будет рассмотрена его работа «Зависимость уплотнения глинистых грунтов от их структурных особенностей», представленная в качестве доклада на Первом конгрессе МАИГ в Париже в 1970 году. Приведу описание разработанной им методики: «Для выяснения прочности структурной системы некоторых глинистых грунтов (при влажности, близкой к пределу раскатывания по Аттербергу W_p) выполнены экспери-

менты на установке, представляющей собой бинокулярный микроскоп, на столике которого было смонтировано приспособление для раздавливания мезо- и микромонолитов, вырезанных из образцов природного сложения. Оно состояло из двух предметных стекол, к которым при помощи серьги прикладывалась нагрузка. Одновременно велось наблюдение за деформациями боковых участков монолитов при помощи горизонтально установленного измерительного микроскопа. Из монолитов грунтов вырезались кубики размером 4×5 мм. Они испытывались на одноосное сжатие, при этом регистрировалось расстояние между частицами и велось наблюдение за внешними признаками деформации породы. Нагрузка давалась до появления сплошных секущих трещин. Из получившихся обломков изготавливались кубики размером 2×3 мм. Они подвергались испытаниям по той же схеме, из образовавшихся обломков изготавливались кубики с размером сторон 1 мм (выдерживались лишь размеры площадки нагружения). Из обломков выбирались агрегаты размером около 0,1 мм, на двух сторонах которых можно было выбрать площадки для приложения нагрузки». Было установлено, что с уменьшением размера образца напряжение для его раздавливания растет, что позволило сделать вывод о том, что «деформация уплотнения под воздействием внешней нагрузки может рассматриваться как процесс разрушения и перестройки агрегативной структуры глинистого грунта. Внешним изменением этого процесса является изменение пористости пород, что и заложено в основу всех расчетов сжимаемости». В докладе приведены также результаты работ по выяснению роли пористости в структурных деформациях. Приведу описание методики: «Нами были произведены исследования ряда литолого-генетических типов глинистых грунтов на сжимаемость в компрессионных приборах с одновременным определением начального распределения пор по размерам (дифференциальной пористости) и распределения пор после обжатия грунтов давлением 2–3 кг/см². Оценка дифференциальной пористости осуществлялась на капилляриметре конструкции Б.Ф. Галая с использованием двух методов — насыщения и отсоса». Анализ результатов испытаний более чем 200 образцов четвертичных лессовых суглинков и третичных глин позволил установить, что активная пористость определяет про-

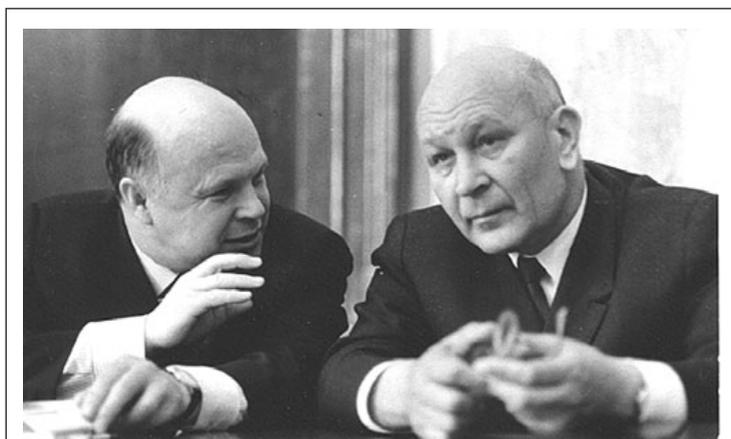


Рис. 5. Рабочий момент научного совещания «Рациональное использование земной коры». Слева — А.К. Ларионов, справа — А.В. Сидоренко (г. Москва, МГУ, 1972 г., фото В.И. Васильева)

цесс первого быстрого этапа сжатия грунта, связанного с разрушением межагрегатных участков, и что тонкая пористость (поры размером менее 0,02 мм) участвует в деформации уплотнения при длительном воздействии давлений, вызывающих частичное разрушение агрегатов. Также был предложен новый показатель для оценки предрасположенности породы к различным типам деформации при сжатии.

Работы Анатолия Константиновича не утрачивали своей актуальности долгие годы. В 1986 году была опубликована сводная монография «Лессовые породы СССР» в двух томах. А.К. Ларионов являлся редактором первого тома вместе с Е.М. Сергеевым и Н.Н. Комиссаровой. В этом томе были опубликованы две его статьи — «Инженерно-геологическая классификация лессовых пород» (в соавторстве с Е.М. Сергеевым) и «Пространственное и временное распространение лессовых пород» (в соавторстве с В.С. Быковой, А.В. Минервиным и Е.М. Сергеевым). А ведь первая монография Анатолия Константиновича по лессам (в соавторстве с В.А. Приклонским и В.П. Ананьевым) вышла еще в 1959 году. Это ли не прекрасный пример творческого долголетия! Более четверти века в строю!

Значительное место в деятельности А.К. Ларионова занимала работа в Научном Совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (позднее — и гидрогеологии). В 1966 году он стал членом совета и активно включился в работу по организации научных конференций, совещаний, симпозиумов, являясь членом оргкомитетов и редакционных комиссий многих из них. На основе в т.ч. и его участия в обсуждениях принимались многие важные решения Научного совета. Приведу один пример. На одной из приведенных в данной статье фотографий (рис. 6) запечатлен момент

заседания совета, проведенного в г. Тбилиси в 1972 году (А.К. Ларионов сидит в первом ряду слева). На заседании обсуждались итоги работы только что завершившейся Первой всесоюзной конференции по инженерной геологии. Было принято важное решение о регулярном проведении всесоюзных конференций по инженерной геологии — каждые четыре года. На этом заседании был также утвержден координационный план исследований по научному направлению «инженерная геология» на пять лет. А.К. Ларионов участвовал в работе Первого конгресса МАИГ в Париже (1970 г.), в совещании «Рациональное использование земной коры» (1972 г.), на котором обсуждалась работа вице-президента АН СССР А.В. Сидоренко «Человек, техника, Земля» и выработывались новые подходы к развитию инженерной геологии.

В 1973 году Научным советом было принято решение о создании его новой структуры. Проблемные комиссии стали его основными структурными подразделениями. Напомню некоторые процедурные моменты из «Общего положения о комиссиях Научного совета»: «Комиссию возглавляет председатель, кандидатура которого утверждается решением совета. Состав комиссии утверждается по представлению председателя комиссии на заседании Научного совета. Председатель комиссии подбирает также из числа членов комиссии заместителя или заместителей и ученого секретаря». Начался новый этап деятельности совета, который всколыхнул инженерную геологию всей страны. Началось формирование комиссий по различным проблемам инженерной геологии. Возвращаясь вновь к старой фотографии (см. рис. 6), подчеркну, что все запечатленные на ней члены Научного совета (за исключением В.Д. Ломтадзе) впоследствии создали проблемные комиссии и успешно руководили



Рис. 6. Участники заседания Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению после завершения работы Первой всесоюзной конференции по инженерной геологии. Сидят слева направо: А.К. Ларионов, В.Д. Ломтадзе, Г.А. Мавлянов, Е.М. Сергеев (председатель Научного совета), И.М. Буачидзе (председатель оргкомитета конференции, ректор Грузинского политехнического института — ГПИ), М.В. Чуринов, Ф.В. Котлов. Стоят слева направо: В.И. Осипов, Г.К. Бондарик, Г.И. Тер-Степанян, И.А. Печеркин, Г.С. Золотарев, Л.Б. Розовский, И.С. Комаров, К.И. Джанджгава (секретарь оргкомитета конференции), В.П. Ананьев, В.С. Шibaкова, М.С. Корнеева (переводчик Научного совета) (кабинет ректора ГПИ И.М. Буачидзе, г. Тбилиси, 3 июня 1972 г.)



ими. Они были призваны содействовать научно-техническому прогрессу в отдельных отраслях инженерной геологии, привлекая научные и производственные организации, а также отдельных исследователей к наиболее важным и актуальным проблемам. В состав комиссий включались специалисты из самых разных регионов страны, изъявлявшие желание принять участие в разработке отдельных научных проблем.

В числе первых в составе Научного совета была создана лессовая комиссия под председательством А.К. Ларионова (ЛГУ). Его заместителями были утверждены В.П. Ананьев (РИСИ) и И.Я. Богданов (Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации — ВНИИГиМ), ученым секретарем — С.Г. Миронюк (Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве — ПНИИИС). Потребовался большой опыт Анатолия Константиновича, чтобы сформировать состав комиссии, т.к. научные исследования по лессовой тематике проводили в десятках организаций по всей стране — от Львова, Кишинева и Киева до Новосибирска, Барнаула и Иркутска, от Москвы и Ленинграда до Ташкента и Ашхабада. В состав лессовой комиссии вошли представители из России, Украины, Молдавии, Узбекистана, Туркмении, работавшие в научных институтах, университетах, строительных и политехнических вузах, научно-производственных объединениях, проектно-изыскательских трестах, подчинявшихся различным министерствам и ведомствам (Академии наук, Минвузу, Мингео, Госстрою, Минводхозу, МПС). Со всеми этими организациями осуществлялась постоянная связь, велась переписка с целью оказания помощи в составлении перспективных планов научных исследований по лессовой тематике, что позволяло избегать их дублирования. В последующем они использовались для подготовки общих координационных планов научных исследований по направлению «инженерная геология», регулярно представлявшихся Научным советом в АН СССР.

Другим не менее важным направлением работы лессовой комиссии была подготовка научных совещаний и конференций для обмена опытом и новейшей информацией по лессовой тематике между специалистами всей страны. Укажу лишь на наиболее крупные из них: Межвузовская конференция по строительству на лессовых грунтах (г. Ростов-на-Дону, сентябрь 1973 г.); Научно-техническая конференция «Проектирование и строительство зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах» (г. Барнаул, 1980 г.); Всесоюзное совещание по проблемам лессовых пород в сейсмогенных регионах (г. Самарканд, 1980 г.); Расширенное заседание лессовой комиссии по обсуждению методики составления Карты распространения просадочности лессовых пород СССР масштаба 1:2500000 (г. Москва, 1981 г.); Производственное совещание «Опорные разрезы лессовых пород» (г. Суздаль, 1983 г.); Научно-практическая конференция «Изучение циклитического¹ строения толщ лессовых пород и их свойств в связи с народно-хозяйственным освоением Предкавказья» (г. Пятигорск, 1987 г.); Всесоюзное совещание по инженерной геологии лессовых пород (г. Ростов-на-Дону, 1989 г.).

¹ От слова «циклить». — *Авт.*



Рис. 7. Открытие заседания кафедры грунтоведения и инженерной геологии ЛГУ, посвященного 60-летию А.К. Ларионова. Слева — А.К. Ларионов, справа — М.П. Лысенко

По итогам работы вышеперечисленных мероприятий принимались решения, публиковались сборники тезисов докладов. Большое участие члены лессовой комиссии принимали в подготовке монографии «Лессовые породы СССР», международной монографии на английском языке «Инженерная геология Земли» («Engineering geology of the Earth»), монографии «Лессовый покров Земли и его свойства». Все эти мероприятия, материалы и труды сыграли свою роль в развитии инженерной геологии второй половины XX века. Несомненно, огромную роль в организации этой деятельности сыграл и А.К. Ларионов.

Анатолий Константинович ушел из жизни в 1989 году. Созданная им лессовая комиссия продолжила работу под руководством Всеволода Петровича Ананьева. Научно-практическая конференция по изучению циклитически² построенных толщ лессовых пород (г. Душанбе, 1991 г.) оказалась последним совещанием, проведенным комиссией.

Особое место в творчестве А.К. Ларионова занимали работы по популяризации геологических знаний («Занимательная инженерная геология», «Занимательная гидрогеология», «Занимательное грунтоведение»),

² Также от слова «циклить». — *Авт.*



Рис. 8. Поздравление юбиляра на заседании кафедры грунтоведения и инженерной геологии ЛГУ, посвященном 60-летию А.К. Ларионова. Слева направо: С.Д. Воронкевич, Е.М. Сергеев, М.П. Лысенко, Г.А. Голодковская, А.К. Ларионов (г. Ленинград, ЛГУ, июнь 1976 г.)

которые в этом отношении поставили его в один ряд с замечательным советским популяризатором науки академиком А.Е. Ферсманом (автором широко известной книги «Занимательная минералогия») и Я.И. Перельманом (автором книг «Занимательная физика», «Занимательная механика» и «Живая математика»). При подготовке данной статьи я прочитала указанные книги Анатолия Константиновича по инженерной геологии и грунтоведению. Я была восхищена и очарована мастерством, с которым в них преподносится научный материал с примерами из мифологии, исторической и художественной литературы, что придает яркость восприятию описываемых природных процессов и явлений и вызывает интерес к их дальнейшему изучению. Совсем немного воображения — и перед читателем оживают разделы: «Причина катастроф — грунты»; «Исчезающие грунты»; «Поющие пески»; «Пески, наводящие ужас»; «Какой высоты могла достигать Вавилонская башня»; «Как образуются пльвуны»; «Удивительная история» и другие. Эти книги изобилуют интересными примерами по работе различных сооружений в сложных грунтовых условиях, содержат множество оригинальных рисунков, отражающих различное поведение грунтов в основаниях сооружений и иллюстрирующих различные методы исследования. Они читаются с интересом, будоражат воображение. Эти работы не устарели и не потеряли своей значимости, и их вполне можно найти в некоторых библиотеках.

Анатолий Константинович Ларионов был яркой творческой личностью. Он являлся автором 14 монографий и учебников, которые вошли в инженерно-геологическую классику. Творческое начало его личности проявлялось не только в его научных трудах, но и в повседневной жизни. Например, в 1970-е годы, когда никто не придавал особенно большого значения заботе о здоровье, А.К. Ларионов разработал свою систему тренировки организма для улучшения самочувствия и сохранения работоспособности. Он использовал шагомер, чтобы контролировать свою ежедневную пешеходную норму (десять километров), обеспечивавшую ему нужный жизненный тонус, и призывал своих коллег следовать этому примеру.

В моей памяти Анатолий Константинович остается крупным ученым, внесшим значительный вклад в развитие инженерной геологии, и одновременно замечательным человеком — радостным, доброжелательным, деятельным, творческая натура которого не вмещалась в традиционные научно-административные рамки. 🐦

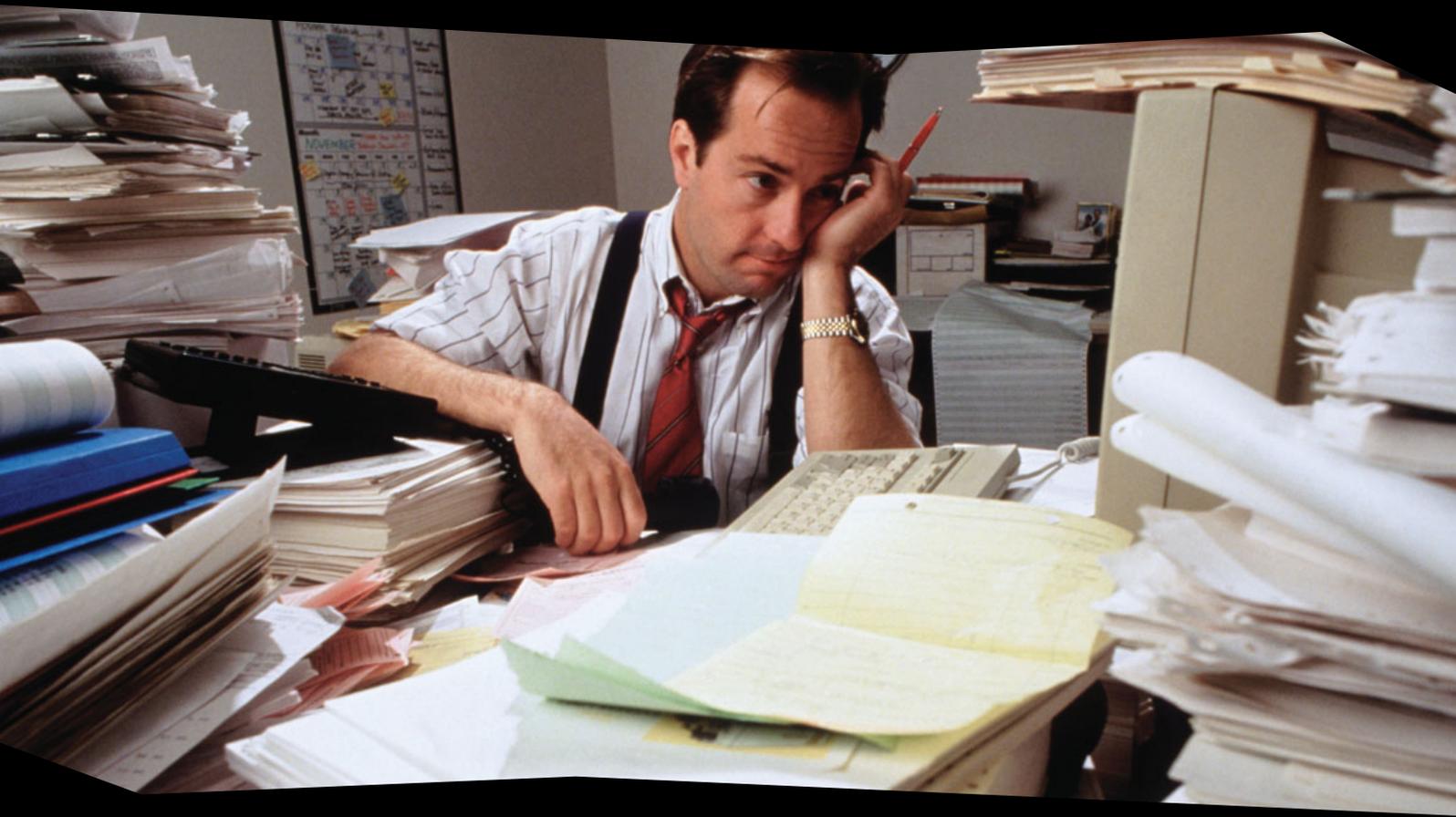
При написании данной статьи были использованы материалы, полученные от А.С. Герасимовой (МГУ), С.Г. Мирониока (ООО «Пуитер Газ»), Н.А. Журавлевой (ОАО «ПНИИИС»), Д.Ю. Здобина (ЛГУ), О.Г. Батановой. Всем указанным специалистам приношу свою искреннюю и глубокую благодарность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грунтоведение и инженерная геология: сборник статей. Вып. 1 / под ред. А.К. Ларионова. Л.: Изд-во ЛГУ, 1976.
2. Грунтоведение и инженерная геология: сборник статей. Вып. 2 / под ред. А.К. Ларионова. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980.
3. Ларионов А.К. Зависимость уплотнения глинистых грунтов от их структурных особенностей // Вопросы инженерной геологии: доклады советских ученых к международному конгрессу МАИГ. М.: Изд-во ВИНТИ, 1970. С. 43–52.
4. Ларионов А.К. Занимательная гидрогеология. М.: Недра, 1979.
5. Ларионов А.К. Занимательная инженерная геология. М.: Недра, 1974. 280 с.
6. Ларионов А.К. Занимательное грунтоведение. М.: Недра, 1984. 156 с.
7. Ларионов А.К. Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых осадочных пород. М.: Недра, 1966. 328 с.
8. Ларионов А.К. Методы исследования структуры грунтов. М.: Недра, 1971. 200 с.
9. Ларионов А.К., Быкова В.С., Минервин А.В., Сергеев Е.М. Пространственное и временное распространение лессовых пород / Лессовые породы СССР. Т. 1. М.: Недра, 1986. С. 27–51.
10. Ларионов А.К., Маслов С.М. Исследования перемещения зоны смачивания в лессовых грунтах методом киносъёмки / Инженерно-техническая информация проблемной лаборатории «Строительство сооружений на лессовых породах». Вып. 2. Воронеж: Изд-во Воронежского инженерно-строительного института, 1963. С. 60–71.
11. Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В.П. Лессовые породы СССР и их строительные свойства. М.: Госгеолтехиздат, 1959. 367 с.
12. Ларионов А.К., Сергеев Е.М. Инженерно-геологическая классификация лессовых пород // Лессовые породы СССР. Т. 1. М.: Недра, 1986. С. 155–161.
13. Ларионов А.К., Сергеев Е.М., Богданов И.Я., Царев П.В. Проблемы охраны геологической среды лессовых территорий в сейсмических районах // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы лессовых пород в сейсмических районах», Самарканд, 24–26 сентября 1980 г. Ташкент: ФАН, 1980. С. 230–231.
14. Лессовые породы СССР / под ред. Е.М. Сергеева, А.К. Ларионова, Н.Н. Комиссаровой. М.: Недра, 1985. Т. 1. 232 с.
15. Лессовый покров Земли и его свойства / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2001.
16. Сергеев Е.М. Грунтоведение. М.: Изд-во МГУ, 1971. 595 с.
17. Ananyev V.P., Balaev L.G., Bogdanov I.Ya., Mozgovoy O.I. Engineering geological characteristics of loess deposits of the Northern Hemisphere // Engineering geology of the Earth (ed. by W.R. Dearman, E.M. Sergeev, V.S. Shibakova). Moscow: Nauka, 1989. P. 116–246.



Рис. 9. Некоторые труды А.К. Ларионова



Реклама



www.geomark.ru

С нами работать проще

Журнал «Инженерные изыскания»



ИСТОРИЯ СТАНОВЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПОНЯТИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ» И ФАКТОРОВ, ЕГО ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ

THE FORMATIVE HISTORY AND THE MODERN MAINTENANCE OF CONCEPT OF «ENGINEERING- GEOLOGICAL CONDITIONS» AND ITS DETERMINING FACTORS

ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, д. г.-м.н., профессор; trofimov@rector.msu.ru

КРАСИЛОВА Н.С.

Старший научный сотрудник кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., crasilova.nina@yandex.ru.

TROFIMOV V.T.

Head of the department of engineering and ecological geology, faculty of geology, Lomonosov Moscow State University, doctor of mineralogy and geology, professor; trofimov@rector.msu.ru

KRASIOVA N.S.

A senior staff scientist of the department of engineering and ecological geology, faculty of geology, Lomonosov Moscow State University, crasilova.nina@yandex.ru.

Ключевые слова:

инженерно-геологические условия; факторы инженерно-геологических условий; региональные факторы; зональные факторы; факторы формирования инженерно-геологических условий.

Key words:

engineering-geological conditions, factors of engineering-geological conditions; regional factors; zonal factors, factors of forming of engineering-geological conditions.

Аннотация

В статье рассматриваются этапы становления понятия «инженерно-геологические условия» в процессе развития инженерной геологии, современное содержание этого понятия; региональные и зональные факторы ИГУ, различие понятий «факторы инженерно-геологических условий» и «факторы формирования инженерно-геологических условий».

Введение

Понятие «инженерно-геологические условия» относится к числу основополагающих в инженерной геологии. Оно систематически используется при проведении научных и производственных работ, в учебном процессе как понятие с установившимся, однозначным содержанием.

Становление названного понятия в этом статусе охватывает значительный период функционирования инженерной геологии. Важнейшая роль в развитии этого процесса принадлежит региональным инженерно-геологическим работам, охватившим во второй половине прошлого века все регионы страны, выявившим все многообразие инженерно-геологических условий ее территории. В связи с этим рассмотрим становление понятия «инженерно-геологические условия» в исторической перспективе, связав его с развитием теоретической и методической базы именно этого научного направления инженерной геологии. В соответствии с этим выделим три этапа становления понятия «инженерно-геологические условия».

Abstract

The article discusses the concept of stages of «engineering-geological conditions» in the process of development of engineering geology, modern meaning of this concept, regional and zonal factors EGC, difference between the concepts «factors of engineering-geological conditions» and «factors of formation of engineering-geological conditions».

Первый этап — отсутствие определения содержания понятия «инженерно-геологические условия» и поиск перечня факторов, их определяющих

Этот этап охватывает период до 1945 г. В его начале, вплоть до 30-х годов XX века, понятие «инженерно-геологические условия» отсутствовало. Условия, в которых проводилось строительство разнообразных сооружений, главным образом дорожных, железнодорожных и городских, было принято называть геологи-



ческими, почвенными или грунтовыми в зависимости от того, кто проводил изыскания под строительство — геолог, почвовед или грунтовед. В число составляющих эти условия каждый исследователь включал разнообразные элементы природной обстановки: типы четвертичных отложений (Г.Ф. Мирчинк); почвы, состав подстилающих пород, отдельные элементы гидрогеологической обстановки (А.С. Козменко, 1913–1930 гг.). Е.В. Милановский (1931 г.) и Н.В. Бобков (1932 г.) к ним относили геоморфологию, элементы тектоники, гидрогеологические данные, петрографический состав пород и их некоторые свойства, а также процессы, связанные с деятельностью подземных вод.

Понятие «инженерно-геологические условия» появилось в 30-е годы XX в. Его впервые использовали в своих работах Н.В. Бобков (1931 г.) и З.А. Макеев (1931 г.). Термин употребили, но определение содержания понятия, которое им обозначалось, отсутствовало и в его составляющие исследователи по-прежнему включали различные элементы природной обстановки. Так, З.А. Макеев (1934 г.) полагал, что инженерно-геологические условия включают геоморфологические особенности (формы рельефа), экзогенные (работа текущих вод) и эндогенные (тектонические) процессы. Б.И. Михеев (1937 г.) включал в их состав геологическое строение (стратиграфия, геотектоника, литология), геоморфологию (динамику рельефа), гидрогеологию и свойства грунтов. Даже Ф.П. Саваренский [12] не дал четкого определения содержания понятия «инженерно-геологические условия», под которыми он понимал «совокупность физико-геологических признаков», включающих геоморфологические элементы, геологические признаки (характер коренных и четвертичных пород), развитие физико-геологических явлений, гидрогеологические элементы. М.И. Семенов [13] под термином «инженерно-геологические условия» предложил понимать «комплексное сочетание многообразных природных факторов». Очень важным в этом определении является то, что М.И. Семенов подчеркнул, что инженерно-геологические условия — это не набор разрозненных элементов, а их комплексное сочетание.

Н.И. Николаев в своих работах по региональной инженерной геологии [7] не употребляет термина «инженерно-геологические условия». Совокупность природных факторов, определяющих условия строительства, он предложил называть природной обстановкой. К этой совокупности относил большое количество факторов (и не только геологических): геологическое строение (стратиграфическое положение, литологический состав пород, тектонические условия); геоморфологические условия местности; гидрогеологические условия; некоторые физико-механические свойства пород; современные физико-геологические процессы; новейшие тектонические движения; климатические факторы; гидрологию; почвы и растительность.

Второй этап — определение содержания понятия «инженерно-геологические условия»

И.В. Поповым, его использование, попытки расширения и недостатки

Наиболее значимой вехой этого периода (1950–1978 гг.) в становлении понятия «инженерно-геологические

условия» был выход в свет серии работ И.В. Попова [8–10]. В них он четко определил содержание этого понятия.

И.В. Попов писал: «Под инженерно-геологическими условиями для строительства следует понимать всю совокупность геологической обстановки, имеющей значение для проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений (курсив наш. — В.Т.; Н.К.), а именно:

- характер слагающих данную местность горных пород, условия их залегания и распространения в земной коре;
- гидрогеологические условия, влияющие на состояние и устойчивость пород;
- современные геологические процессы, как природные, так и вызванные инженерной или вообще хозяйственной деятельностью человека, влияющие на выбор места для строительства, конструкции сооружения и методов производства строительных работ;
- геоморфологию местности» [9, с. 26].

И далее: «Изучение инженерно-геологических условий, выявление их взаимозависимости и зависимости от других природных явлений (климат и пр.) и прогноз взаимодействия их с инженерным сооружением является основной задачей инженерно-геологических исследований» (там же).

Отметим два важных момента: 1) важное значение имеет то обстоятельство, что И.В. Попов в своих работах дал полный, с его точки зрения, перечень основных природных геологических факторов инженерно-геологических условий; 2) большим *упущением* этого перечня является отсутствие в нем мерзлотных особенностей объекта, особенно учитывая то, что почти 47% территории СССР занимали поля многолетнемерзлых пород¹. (И этот недостаток сохранялся во многих работах еще долгое время).

Все последующие годы в работах инженеров-геологов в основном дословно используется определение, данное И.В. Поповым. *Были попытки расширить содержание этого понятия.* Так, Н.В. Коломенский [5] к инженерно-геологическим условиям относил любое геологическое явление, оказывающее влияние на строительство. В.Д. Ломтадзе (1970) к числу инженерно-геологических факторов инженерно-геологических условий считал необходимым отнести, кроме тех, что перечислены у И.В. Попова, и наличие на месте строительства месторождений минеральных строительных материалов.

В 1960-е годы, когда региональные инженерно-геологические работы начали проводиться практически на всей территории и в практику инженерно-геологических работ был введен системный анализ, инженеры-геологи пришли к необходимости упорядочения многих теоретических положений и основополагающих понятий инженерной, в том числе и региональной инженерной, геологии. Это коснулось, естественно, и понятия «инженерно-геологические условия».

¹ Этот недостаток в работе И.В. Попова — выдающегося теоретика инженерной геологии — обусловлен, по мнению В.Т. Трофимова, тем, что Иван Васильевич не был связан с конкретным изучением инженерно-геологических условий объектов в области распространения многолетнемерзлых пород.

Так, Г.К. Бондарик, И.С. Комаров, В.И. Ферронский [3] подчеркивали, что инженерно-геологические условия следует рассматривать не как механическую сумму компонентов, а как *единую, сложную, развивающуюся динамическую систему*, в которой все компоненты не только связаны и взаимодействуют между собой, но и находятся в сложных и многообразных формах связи с окружающей средой. Связи между компонентами инженерно-геологических условий, как показал И.В. Попов [10], а позже Г.А. Голодковская [4], должны рассматриваться с историко-геологических и генетических позиций, а по В.Т. Трофимову, и с учетом современных тектонического режима и тепло- и влагообеспеченности объектов изучения.

Позже Г.К. Бондарик предложил под системой инженерно-геологических условий понимать «область пространства, включающую верхнюю часть литосферы, в которой происходит взаимодействие геофизических и геохимических полей, приводящее к определенному, отличному от других областей пространственно-временному режиму инженерно-геологических условий» [1, с. 13]. Он также рассматривал систему инженерно-геологических условий как многомерное геологическое поле.

Однако эти и другие работы не смогли ликвидировать уже ранее названный главный недостаток позиции И.В. Попова — явную недооценку мерзлотных особенностей территории, точнее их отсутствие в перечислении факторов, определяющих инженерно-геологические условия. Такая позиция, как уже отмечалось, является очень устойчивой. Даже в СНиП 11-105-97 [(часть 1. Пункт 4.2) 14] читаем, что «инженерно-геологические изыскания должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая *рельеф, геологическое строение, сейсмотектонические, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы* (курсив наш. — В.Т.; Н.К.) и составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для обоснования проектной подготовки строительства, в том числе мероприятий инженерной защиты объекта строительства и охраны окружающей среды». Прямого указания на мерзлотные условия в перечислении факторов нет. И это несмотря на то, что начиная с конца 1960-х годов во многих публикациях Е.С. Мельникова, В.Т. Трофимова и других авторов указывалось на необходимость устранения такой ситуации. В частности, В.Т. Трофимов [16, с. 4] писал: «Инженерно-геологические условия, как известно, определяются большим комплексом природных факторов. Наиболее важными из них являются: 1) геологическое строение местности, 2) характер слагающих ее пород (состав, состояние, свойства и др.), 3) рельеф, 4) *мерзлотно-гидрогеологические условия (распространение мерзлых, талых и немерзлых толщ, их температура, мощность мерзлых пород, их криогенное строение, глубина сезонного промерзания — протаивания (кур-*

сив наш. — В.Т.; Н.К.), глубина залегания подземных вод, их водообильность, агрессивность и др.) и 5) современные геологические процессы и явления. Характер проявления указанных факторов определяется, с одной стороны, региональными геологическими особенностями территории, а с другой — современными ее климатическими условиями. Закономерное сочетание этих основных параметров и формирует инженерно-геологическую обстановку любого региона, любого участка».

Формально мерзлотные (геокриологические) условия как обязательный фактор, в числе других, определяющих, инженерно-геологические условия, были закреплены в «Методическом руководстве по инженерно-геологической съемке масштаба 1: 200 000» [6]. В нем на стр. 5 указано, что под инженерно-геологическими условиями понимается «комплекс компонентов геологической обстановки, определяющих условия устойчивости и работы сооружений и оказывающих влияние на выбор их местоположения, тип конструкции, методы строительства и режим эксплуатации». В этот комплекс входит: «геологическое строение (положение в тектонической структуре, условия залегания и состав пород), геоморфологические, *геокриологические* (курсив наш. — В.Т.; Н.К.) и гидрогеологические условия, современные геологические процессы, физико-механические свойства горных пород». Отмечается важность изучения воздействующих на эти компоненты элементов внешней среды — поверхностных вод, растительности, климата и др.

Третий этап — признание инженерно-геологических условий открытой системой и геокриологических условий как их обязательного компонента

Казалось бы, введение мерзлотных (геокриологических) особенностей исследуемого объекта в число факторов, определяющих инженерно-геологические условия, должно было поставить точку в рассматриваемом нами вопросе. Но дискуссия и в течение третьего этапа, начало которого мы связываем с 1979 годом, продолжилась.

Г.К. Бондарик в 1981 г. [2] вернулся к рассмотрению этого вопроса. Он показал, что понятие «инженерно-геологические условия» охватывает три группы сведений, включающие комплекс данных о структуре, свойствах и движении геосистемы, учитываемых при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружения. Этот комплекс данных представлен в табл. 1. При рассмотрении теоретических вопросов инженерной геологии и, в частности, вопроса об инженерно-геологических условиях Г.К. Бондарик ввел понятия «объект» и «предмет» инженерной геологии. Первым — объектом инженерной геологии, по Г.К. Бондарик, является геологическая среда, ее структура, свойства и движение, отбираемые и оцениваемые с инженерно-геологической точки зрения, т.е. все компоненты инженерно-геологических условий входят в это понятие. Под предметом им понимается совокупность знаний об этом объекте, и эту совокупность знаний Г.К. Бондарик предлагает рассматривать как инженерно-геологическую систему (ИГС).



Сведения о свойствах геологической среды — компонентах инженерно-геологических условий (по Г.К. Бондарыку, [2])	
Группа сведений	Перечень сведений
Пространственные отношения элементов геосистем, структура геосистемы	Расположение в пространстве геологических тел, геологическое строение и условия залегания горных пород, их тектоника и трещиноватость, гидрогеологическое строение геосистемы (отношение элементов твердой и жидкой фаз); геоморфологический облик поверхности геосистемы (отношение геоморфологических элементов)
Свойства геосистемы в целом и ее элементов	Литологический (петрографический), гранулометрический состав, структура и свойства горных пород, температура и состояние подземных вод, фазовый состав, состояние и физико-механические свойства грунтов
Изменение состояний геосистемы, ее движение, процессы	Геологические (преимущественно экзогенные), в т.ч. инженерно-геологические, процессы

Отметим такой факт. В.Т. Трофимов и Т.И. Аверкина в книге «Теоретические основы региональной инженерной геологии» [23] показали, что в качестве *объекта* региональной инженерной геологии правильнее рассматривать *различные структуры (точнее, инженерно-геологические структуры) земной коры, а предмет* региональной инженерной геологии — это *система инженерно-геологических знаний* об этих структурах. Тут же отметим, что в табл. 1 нет, как и у И.В. Попова, даже упоминания о мерзлотных особенностях как о факторе, определяющем инженерно-геологические условия.

В этот же период был поднят вопрос об «открытости» объекта инженерно-геологических исследований. В работах [18–21] подчеркивалось, что природные инженерно-геологические условия следует рассматривать как *сложную, открытую, многофакторную² систему, состояние которой в любой момент времени определяется в естественной (природной) ситуации геолого-структурными и современными климатическими условиями (в первую очередь теплообеспеченностью и увлажненностью территории и их соотношением)*. Иначе говоря, природная инженерно-геологическая обстановка определяется тремя факторами причин — историей геологического развития структуры, ее современным тектоническим режимом и современными климатическими особенностями. На освоенных территориях, на которых сформированы литотехнические системы, к числу этих причин добавляется антропогенная деятельность.

В качестве итога приведем выдержку из монографии [22]. В ней так сформулирован обсуждаемый вопрос: *«Инженерно-геологические условия обычно рассматривают как комплекс современных геологических особенностей (параметров, факторов), определяющих условия инженерных изысканий, строительства и эксплуатации инженерных сооружений (узкий подход), или условия инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом (широкий подход)»* (с. 39). К этому исходя из приведенных позиций следовало бы добавить после слов «комплекс современных геологических особенностей (параметров, факторов)» словосочетание *«формирующих сложную, открытую, многофакторную, динамичную систему»*.

О факторах инженерно-геологических условий и факторах формирования инженерно-геологических условий

В инженерной геологии используются два на первый взгляд схожих, близких по звучанию термина — «факторы инженерно-геологических условий» и «факторы формирования инженерно-геологических условий». Их содержание после введения в специальную терминологию в ходе развития нашей науки, в первую очередь регионального научного направления, было уточнено и показано, что в содержательном плане это разные понятия и их нужно четко разделять.

Понятие «факторы инженерно-геологических условий» было введено в литературу в 1950 г. И.В. Поповым с соавторами [11]. К ним авторы отнесли геологические структуры, рельеф, грунтовые и гидрогеологические условия, современные геологические процессы. Позже, в 1959 г. И.В. Попов, обсуждая вопрос о факторах инженерно-геологических условий, писал: «Следует различать закономерности зонального и регионального характера. Первыми управляет сформулированный В.В. Докучаевым закон географической зональности³. Региональные закономерности созданы в процессе геологической истории данной местности. К региональным условиям относятся: геологическое строение местности, характер пород, гидрогеологические условия, геоморфология и в значительной мере современные физико-геологические процессы» [9, с. 26]. В этой же работе (с. 33–36) И.В. Попов кратко рассмотрел представления В.В. Докучаева о горизонтальной и вертикальной зональности природной среды, зональности ландшафтов, зональности некоторых экзогенных физико-геологических процессов, в т.ч. в «области «вечной» (устойчивой) мерзлоты» (с. 38). Эти же позиции повторены И.В. Поповым в его учебном пособии «Инженерная геология СССР. Часть I. Общие основы региональной инженерной геологии» [10]. Эти положения, введенные И.В. Поповым, были приняты инженерами-геологами и по существу первое время даже не обсуждались. Никто в этот период даже не задумывался, по крайней мере, о содержании двух позиций: 1) почему региональные факторы инженерно-геологических условий назывались геологическими, а зональные обозначались без этого определения; 2) что учение В.В. Докучаева было разработано к почвенному покрову, расширено географами к природным ландшафтным условиям, но не к показателям геологических тел, тем более инженерно-геологических условий. И только после начала региональных инженерно-геологических исследований, проводимых в пределах крупнейших геологических

² После слова «многофакторную» следует добавить слово «динамичную».

³ Отметим, что закон как конструкция мыслительная (идеальная) не может управлять объективным явлением — природной зональностью. Следовало бы писать «...подчиняется ...»

структур СССР, «составные» части которых расположены в районах с разной экзогенной тепло- и влагообеспеченностью, стало ясно, что вопрос о зональных факторах инженерно-геологических условий требует дальнейшего исследования.

В.Т. Трофимовым [15, 17] показано, что зональные факторы инженерно-геологических условий следует называть «зонально-геологическими» (позже прижилось название «зональные геологические»). Это обусловлено тем, что они, с одной стороны, отличаются зональным характером изменения, а с другой — являются геологическими по существу. Их развитие, комплекс и особенности определяются совместным влиянием современных климатических условий, палеоклимата ближайшего прошлого, геологического строения и современной тектоники. Было показано, что к числу факторов этой группы относятся современное состояние пород (зависящее главным образом от фазового состояния влаги и ее количества в них), характер и интенсивность экзогенных процессов и гидродинамические особенности верхней части разреза территории⁴.

⁴ Позже было создано учение о зональности инженерно-геологических условий и показано, что она представляет собой глобальное явление [23].

Таблица 2

Факторы инженерно-геологических условий и факторы формирования инженерно-геологических условий (по В.Т. Трофимову, Т.И. Аверкиной, [23], с дополнениями)			
Факторы (компоненты) инженерно-геологических условий		Факторы формирования инженерно-геологических условий	
Региональные геологические	1. Мега- и мезорельеф. 2. Состав, строение и свойства, степень литификации и метаморфизации пород, условия их залегания и распространения. 3. Условия залегания, химический состав и агрессивность подземных вод глубоких горизонтов. 4. Характер эндогенных и экзогенных геологических процессов.	Региональные геологические	1. Совокупность геологических процессов, реализованных в ходе истории геологического развития территории. 2. Современное тектоническое развитие территории.
	Зональные геологические		1. Современное состояние грунтов и их свойства (распространение мерзлых и талых грунтов, их температура, криогенное строение мерзлых толщ и т.п.). 2. Глубина залегания, химический состав, агрессивность и другие особенности грунтовых вод. 3. Характер и интенсивность экзогенных геологических процессов
		Техногенные	

В настоящее время под факторами инженерно-геологических условий подразумевают современные, морфологически выраженные геологические особенности территорий, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Именно современные и именно морфологически выраженные. (Практически это синоним понятия «компоненты инженерно-геологических условий»). Они определяют современный инженерно-геологический облик территории, с ними мы имеем дело при решении всех типов задач, в первую очередь задач морфологических, статических по своему содержанию.

Современные представления о конкретных факторах инженерно-геологических условий с разбиением их на региональные геологические и зональные геологические показаны в табл. 2. Между этими факторами и факторами их формирования существует причинно-следственная связь: факторы формирования инженерно-геологических условий — это эндогенно и экзогенно обусловленные особенности развития территории, которые являются причиной, создавшей наблюдаемые в настоящее время сочетания инженерно-геологических факторов-параметров. В современной инженерно-геологической обстановке запечатлена долгая и сложная история развития регионов. При необходимости ее можно восстановить и определить факторы, под влиянием которых сформировались современные особенности территории. Именно это и делает инженер-геолог при решении ретроспективных задач.

Факторы формирования инженерно-геологических условий делятся на три группы [18]. К первой относятся преимущественно эндогенные по своей природе региональные геологические факторы формирования. Вторую группу составляют экзогенные по природе зональные факторы формирования, которые иногда называют зональными географическими, что в данном случае правомерно. Последняя, третья, группа включает техногенные факторы формирования, а точнее, факторы изменения естественно сформированных инженерно-геологических условий (см. табл. 2). Региональные геологические факторы формирования инженерно-геологических условий — это совокупность геологических процессов, реализованных в ходе геологического развития территории, и ее современная тектоническая жизнь. Именно эти эндогенные причины в решающей степени определяют современный инженерно-геологический облик структур разного порядка. От них зависят состав, строение, степень литификации или метаморфизации пород, условия их залегания и распространения, гидрогеологические особенности, специфика мега-, а часто и мезорельефа, а также во многом и характер современных геологических процессов (см. табл. 2). Данное обстоятельство неоднократно отмечалось в работах разных исследователей — И.В. Попова, Г.А. Голодковской, В.Т. Трофимова и других.

Зональные факторы формирования инженерно-геологических условий — это экзогенно обусловленные, климатические особенности территории, прежде всего теплообеспеченность, увлажненность и их соотношение. Эти экзогенные по природе факторы определяют современное состояние грунтов и во многом их свойства, глубину залегания, химический со-



став и агрессивность грунтовых вод, характер и интенсивность экзогенных геологических процессов.

Выводы

1. Становление содержания понятия «инженерно-геологические условия» продолжалось длительное время — в течение всех этапов развития инженерной геологии. В итоге пришли к такой научной формулировке: *инженерно-геологические условия — комплекс современных геологических особенностей (параметров, факторов), формирующих сложную, открытую, многофакторную, динамичную систему и определяющих условия инженерных изысканий, строительства и экс-*

плуатации инженерных сооружений (узкий подход) или условия инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом (широкий подход).

2. «Факторы инженерно-геологических условий» — современные, морфологически выраженные геологические особенности территорий, изучаемые в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Именно современные и именно морфологически выраженные. Эти особенности обусловлены «факторами формирования инженерно-геологических условий» — эндогенно и экзогенно обусловленными особенностями развития территории, которые являются причиной, создавшей наблюдаемые в настоящее время сочетания инженерно-геологических факторов-параметров. ☞

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К. О методе исследования систем в инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С.11-17.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
3. Бондарик Г.К., Комаров И.С., Ферронский В.И. Полевые методы инженерно-геологических исследований. М.: Недра, 1967. 374 с.
4. Голодковская Г.А. Региональное инженерно-геологическое изучение территории на основе геолого-структурного анализа: автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М.: МГУ. 1968. 46 с.
5. Коломенский Н.В. Об основных положениях инженерно-геологического картирования. Разведка и охрана недр. 1964. № 4. С. 40–48.
6. Методическое руководство по инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (1:100 000 — 1:500 000). М.: Недра, 1978. 391 с. (ВСЕГИНГЕО)
7. Николаев Н.И. Региональные особенности инженерно-геологических исследований на территории СССР // Инженерно-геологические исследования для гидротехнического строительства (Методическое руководство). М.: Госгеолгиздат, 1950. С. 13–14.
8. Попов И.В. Инженерная геология: учебник для специальности «Гидрогеология и инженерная геология» геолого-разведочных вузов и факультетов. М.: Госгеолгиздат, 1951. 444 с.
9. Попов И.В. Инженерная геология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1959. 510 с.
10. Попов И.В. Инженерная геология СССР. Т. 1: Общие основы региональной инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1961. 178 с.
11. Попов И.В., Кац Р.С., Кориковская А.К., Лазарева В.П. Методика составления инженерно-геологических карт. М.: Госгеолгиздат, 1950. 45 с.
12. Саваренский Ф.П. Инженерная геология. М.: Л.: ОНТИ. 1937. 422 с.
13. Семенов М.П. Состояние и дальнейшее направление научно-исследовательских работ в области инженерной геологии // Труды лабор. гидрогеол. проблем. 1948. Т. 3. С. 315–321.
14. СНиП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 1: Общие правила производства работ. Госстрой России. М., 1997. 45 с.
15. Трофимов В.Т. Инженерно-геологическое районирование крупных территорий на основе анализа закономерностей пространственной изменчивости инженерно-геологических условий (на примере Западно-Сибирской плиты): автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М. 1976. 49 с.
16. Трофимов В.Т. Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М.: Изд-во МГУ, 1977. 280 с.
17. Трофимов В.Т. Теоретические вопросы инженерно-геологического районирования // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1979. № 1. С. 64–76.
18. Трофимов В.Т. Региональные геологические и зональные факторы формирования инженерно-геологических условий // Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. С. 242–244.
19. Трофимов В.Т. О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии // Инженерная геология. 1986. № 5. С. 10–21.
20. Трофимов В.Т. Проблемы региональной инженерной геологии // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 25–41.
21. Трофимов В.Т. Содержание, структура и современные задачи инженерной геологии. Статья 1 // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 1996. № 6. С. 3–15.
22. Трофимов В.Т. Зональность инженерно-геологических условий континентов Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 348 с.
23. Трофимов В.Т., Аверкина Т.И. Теоретические основы региональной инженерной геологии. М.: ГЕОС, 2007. 464 с.



ВЛИЯНИЕ ТИПА СТРУКТУРЫ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ НА ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

INFLUENCE OF THE STRUCTURE TYPES OF CLAY SOILS ON CHANGES OF THEIR DYNAMIC PROPERTIES IN THE RANGE OF SMALL DEFORMATIONS

ГОРБУНОВА А.С.

Магистрант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, tamasago@gmail.com

ВОЗНЕСЕНСКИЙ Е.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., eugene@geol.msu.ru

GORBUNOVA A.S.

Graduate student of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, tamasago@gmail.com

VOZNESENSKY E.A.

Professor of the department of engineering and ecological geology of the faculty of geology of the Lomonosov Moscow State University, PhD (doctor of science in Geology and Mineralogy), eugene@geol.msu.ru

Ключевые слова:

динамические свойства грунтов; малые деформации; резонансные колонки; поглощение (гистерезисное затухание); тип контактных взаимодействий.

Key words:

soil dynamic properties; small strains; resonant columns; hysteresis damping; interparticle contact type.

Аннотация

В статье рассмотрено влияние преобладающего типа контактных взаимодействий между частицами в глинистых грунтах на закономерности изменений их динамических свойств в диапазоне малых относительных деформаций сдвига (от 10^{-5} до 10^{-3}). Показаны различия пороговых уровней деформаций, при которых начинаются существенные изменения характеристик динамических свойств глинистых грунтов с разными типами структуры. Установлено, что в процессе деформирования наименьшим изменениям подвергаются динамические характеристики грунтов с коагуляционными структурами. При этом нелинейную упругость в диапазоне малых сдвиговых деформаций проявляют глинистые грунты с любым типом структуры.

Введение

Динамические свойства грунта характеризуют его, с одной стороны, как среду распространения колебаний (упругие, демпфирующие, фильтрующие свойства), а с другой — определяют его динамическую неустойчивость. Необходимость изучения характеристик динамической неустойчивости грунтов достаточно очевидно при решении всех практических задач, связанных со снижением их жесткости и прочности при динамических нагрузках разного происхождения. Землетрясения, движущийся транспорт, взрывы при экскавациях, работа тяжелых машин, ветровые и волновые нагрузки часто приводят к повреждениям зданий и других инженерных сооружений в результате значительных и неравномерных осадок, смещений пород на склонах, разрушения насыпей. Показатели динамических свойств грунтов, описывающие условия распространения в массиве сейсмических волн — волн напряжений, также практически востребованы для расчета колебаний сооружений и определения переменных нагрузок в их конструктивных элементах. Экспериментальное определение этих показателей предусматривается и действующими нормативными документами [12].

Для количественной характеристики динамических свойств грунта как среды распространения волн напряжений используются следующие основные величины:

- ряд динамических модулей грунта — модуль Юнга, динамический модуль сдвига, динамический модуль общей деформации;
- коэффициент Пуассона;
- характеристики затухания волн напряжений.

Энергия динамических воздействий переносится от их источников волнами напряжений разного типа. Передача энергии волны от точки к точке происходит за счет упругих свойств среды, характеризующихся динамическими модулями деформации, но по мере распространения волны часть ее энергии теряется, что приводит к снижению интенсивности динамической на-

Abstract

The paper discusses influence of the prevailing interparticle contact type in clay soils on the regularities of their dynamic properties variations in small shear strain range (10^{-5} – 10^{-3}), demonstrates differences between the threshold strains at which considerable changes of dynamic characteristics of clay soils with different structure types appear. It is revealed that the lowest alterations of the dynamic properties resulting from straining occur in clay soils with coagulative structures. Nonlinear elasticity in the small-strain range is common for clay soils with any structure type.



грузки с удалением от ее источника и называется затуханием (демпфированием). Причины его существования различны и связаны главным образом с неидеальной упругостью, дискретностью и неоднородностью строения любого массива грунтов, представляющего собой многокомпонентную систему и не являющегося однородной упругой средой.

В соответствии с различными механизмами потерь энергии волны различаются следующие виды затухания:

- расхождение (или геометрическое затухание), обусловленное уменьшением удельной энергии на единицу площади фронта волны в связи с ее увеличением по мере удаления от источника;
- рассеяние на неоднородностях среды, имеющих другую сжимаемость или плотность по сравнению с остальной средой;
- поглощение (или гистерезисное затухание), обусловленное затратами энергии на пластические и нелинейно-упругие деформации.

В реальном массиве грунтов все три вида затухания проявляются одновременно, но в зависимости от состава и свойств самого грунта, а также вида и частоты бегущей волны соотношение между ними может существенно варьировать. Различна их роль и на разном удалении от источника. Однако лишь поглощение является собственно динамическим свойством грунта как материала среды, в которой распространяются волны напряжений. Остальные компоненты затухания определяются строением грунтовых толщ и удаленностью источника колебаний.

С позиций энергетики процесса динамического нагружения грунта мерой его динамической устойчивости является суммарная величина энергии, рассеянная (т.е. необратимо потерянная) единицей объема грунта во всех циклах воздействия к моменту заданного уровня деформирования или моменту разрушения. И чем выше эта величина, тем более динамически устойчив грунт [1]. Эта суммарная энергия на единицу объема грунта (удельная рассеянная энергия), следовательно, зависит от диссипативных свойств грунта и может быть рассчитана по площади петель гистерезиса на кривой зависимости между напряжением и деформацией в лабораторном эксперименте.

При расчете колебаний сооружений на деформируемых грунтовых основаниях в рамках моделей вязкоупругой среды основными характеристиками жесткости и затухания грунта выступают динамический модуль сдвига (G , МПа) и коэффициент поглощения (D , %), имеющий физический смысл доли критического затухания. Оба эти показателя существенным образом зависят от уровня сдвиговых деформаций, возникающих при распространении волны [2]. Эта зависимость достаточно подробно исследована многими авторами. Анализ опубликованных на эту тему сведений позволяет указать на следующие установленные на сегодняшний день закономерности.

При амплитудах деформаций сдвига¹ порядка 10^{-5} и ниже поведение большинства грунтов можно считать упругим, а деформации — полностью обратимыми. В этом наиболее простом случае максимальный модуль

сдвига G_{max} является ключевым параметром, позволяющим моделировать поведение грунта [17]. Этот показатель связан со скоростью сдвиговой волны в грунте выражением:

$$G_{max} = \rho \cdot V_s^2,$$

где ρ — плотность грунта.

В диапазоне амплитуд деформаций γ_a порядка 10^{-5} – 10^{-3} поведение грунтов становится упругопластическим и модуль сдвига имеет тенденцию к снижению по мере роста деформации сдвига (рис. 1). В то же время в каждом цикле нагружения рассеивается часть энергии. Поскольку поглощение энергии в грунтах имеет гистерезисную природу, коэффициент D может быть использован как показатель поглощения энергии грунтом [17].

Так как в рассматриваемом диапазоне амплитуды деформации достаточно малы и не вызывают прогрессирующих изменений показателей физико-механических свойств грунтов, модель поведения грунта может быть описана двумя параметрами — модулем сдвига

$$G = \frac{\tau_a}{\gamma_a},$$

где τ_a — амплитудное значение касательного напряжения в цикле, и эквивалентным коэффициентом вязкого поглощения

$$D = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta W}{G \cdot \gamma_a^2},$$

где ΔW — энергия, рассеянная в грунте в каждом цикле нагружения (см. рис. 1).

При амплитудах же деформации порядка 10^{-3} и выше свойства грунтов существенно меняются с изменением сдвиговой деформации, зависящей, в свою очередь, от числа циклов нагружения [2, 16, 17]. Также

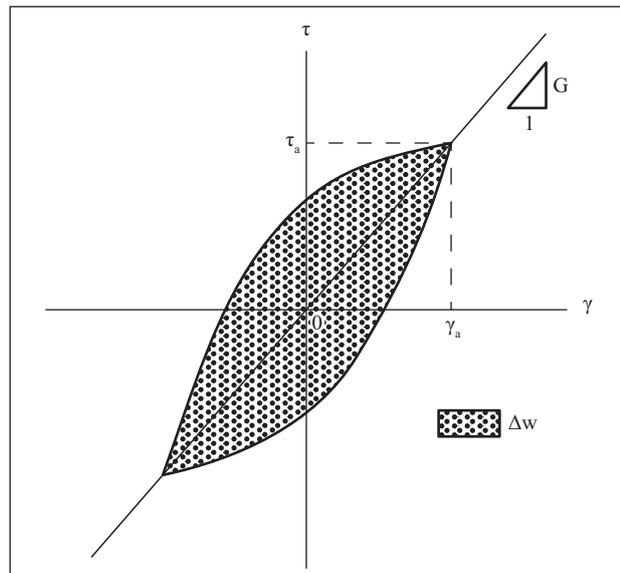
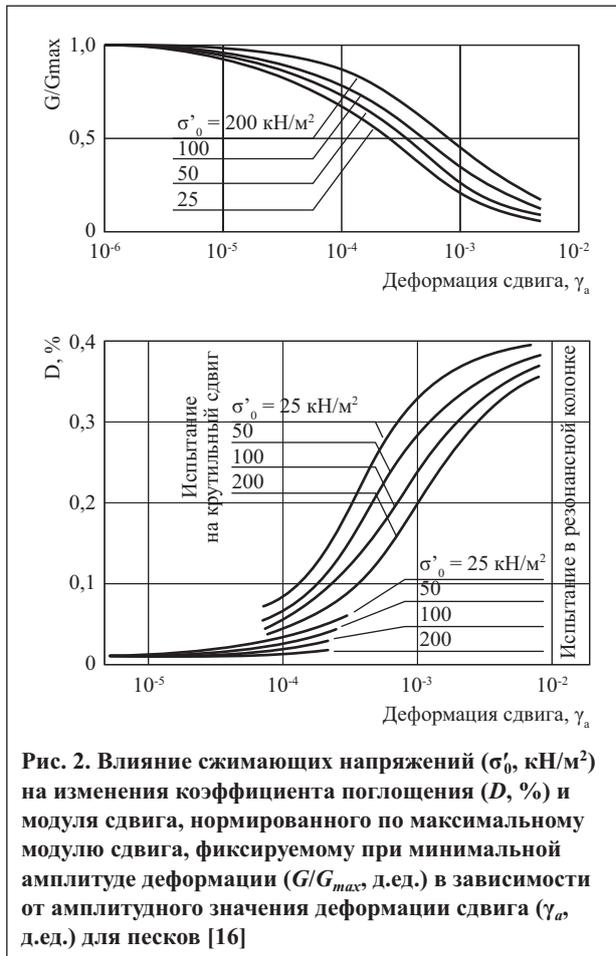


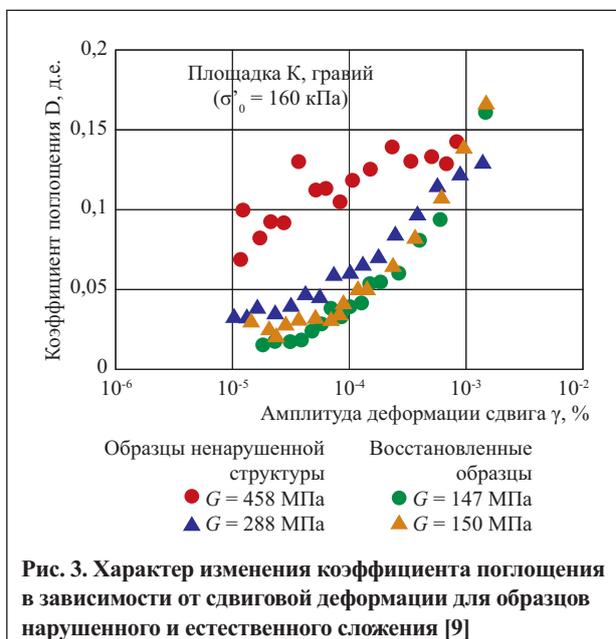
Рис. 1. Петля гистерезиса [17]: γ — относительная сдвиговая деформация; γ_a — амплитудное значение относительной сдвиговой деформации в цикле; τ — касательное напряжение; τ_a — амплитудное значение касательного напряжения в цикле; ΔW — энергия, рассеянная в грунте в каждом цикле нагружения; G — динамический модуль сдвига

¹ Здесь и далее имеется в виду относительная величина сдвиговой деформации.



можно считать установленной зависимость динамического модуля сдвига и коэффициента поглощения грунтов от величины действующих эффективных напряжений (контролирующих трение в системе) (рис. 2), что определяет и наблюдаемое закономерное снижение поглощения грунтов с увеличением глубины их залегания [11].

Данные, приводимые разными авторами, указывают в целом на более высокие характеристики поглощения у связных грунтов по сравнению с несвязными.



Увеличение крупности частиц приводит к повышению динамического модуля сдвига песков, однако закономерного влияния гранулометрического состава на их поглощение не выявлено, при этом оно слабо меняется и с увеличением сжимающих напряжений [3]. Основными параметрами, контролирующими динамические свойства связных грунтов помимо уровня деформаций и нормальных напряжений, многие авторы считают пористость и пластичность, представляя максимальный модуль сдвига G_{max} при минимальной амплитуде деформации как функцию коэффициента пористости e [14, 19].

Очевидно, между тем, что пластичность — характеристика грунта в нарушенном состоянии, отражающая прежде всего дисперсность и минеральный состав грунта, а значит, опосредованно влияющая и на пористость. С другой стороны, грунты с одинаковым числом пластичности, но при разной влажности могут иметь совершенно различные характеристики динамических свойств даже при одном уровне сжимающих напряжений. Таким образом, предлагаемые некоторыми авторами эмпирические зависимости, связывающие динамические характеристики грунтов с числом пластичности и коэффициентом пористости могут иметь лишь ограниченное применение исключительно в рамках той выборки грунтов, для которой они получены.

Кроме того, установлено [17], что пороговый уровень деформаций, с которого начинается снижение динамического модуля сдвига, в связных грунтах выше, чем в несвязных, при этом он находится в прямой зависимости от числа пластичности грунта.

В соответствии с современными представлениями грунтоведения динамические свойства грунтов, как и другие их физико-механические свойства, определяются прежде всего природой преобладающих в них структурных связей — типом контактных взаимодействий между структурными элементами грунтов, их удельной прочностью, а также общей площадью этих межчастичных контактов. Другие же перечисленные выше характеристики (пористость, размер зерна, пластичность) лишь опосредованно отражают какие-то из аспектов этого главного фактора.

Между тем исследованию влияния типа структуры взаимодействий на жесткость и поглощение в грунтах при деформациях разного уровня в опубликованных работах уделено немного внимания. Причина этого заключается, вероятно, в методической сложности такого исследования. Анализ отдельных публикаций, посвященных этому вопросу, показывает, кроме того, и неоднозначность трактовки полученных данных.

Так, исследования К. Ишихары [9] указывают на более чем двукратное различие между коэффициентами поглощения образцов естественного сложения и искусственно сформированных образцов с тем же коэффициентом пористости (рис. 3).

Еще ряд авторов продемонстрировал влияние природной цементации грунтов как на абсолютные значения их динамических характеристик, так и на особенности изменения последних по мере деградации цементационных контактов [13, 18]. Вместе с тем другие экспериментальные исследования образцов нарушенного и естественного сложения [15] показали, что



нарушение сложения не оказывает заметного влияния на коэффициент поглощения в малом диапазоне деформаций.

Нам представляется, что отмеченные противоречия обусловлены исключительно особенностями структуры тех конкретных грунтов, с которыми работали разные авторы. Ведь за понятиями «нарушенное» и «ненарушенное» сложение для грунтов с различной структурой (например, с коагуляционной и смешанной), а тем более в разных диапазонах деформаций могут стоять колоссальные различия в степени изменений (между этими двумя типами сложения) физико-механических характеристик сравниваемых грунтов.

В связи с этим мы предприняли попытку экспериментально исследовать различия показателей динамических свойств (динамического модуля сдвига и коэффициента поглощения) серии природных глинистых грунтов с разными типами структуры с позиций как их абсолютных значений, так и особенностей их изменений в диапазоне сдвиговых деформаций, не превышающих 10^{-3} . Рассмотрению методики этого исследования и полученных результатов и посвящена предлагаемая вниманию читателей статья.

Методика экспериментальных исследований

Динамические свойства глинистых грунтов исследовались методом малоамплитудных крутильных колебаний в резонансной колонке. Этот метод предназначен для определения динамического модуля сдвига G и коэффициента поглощения D цилиндрических образцов грунта ненарушенного или нарушенного сложения и основан на теории распространения упругих волн сдвига в стержне.

При исследованиях в резонансной колонке образец помещается в камеру трехосного сжатия и после завершения стадии предварительной консолидации испытывается в режиме вынужденных крутильных колебаний в определенном диапазоне частот при постепенном увеличении крутящего момента, приложенного к верхнему — свободному — торцу образца. Грунт при этом испытывает деформацию простого сдвига. Нижний торец закреплен, и деформации сдвига на нем полагаются равными нулю. Измеряется амплитуда деформации сдвига на каждой частоте, что позволяет построить резонансную кривую и определить первую собственную частоту крутильных колебаний образца, которая дает возможность рассчитать скорость распро-

Таблица 1

Инженерно-геологическая классификация глинистых пород по типу структурных связей (по [10])							
Группа	Тип контакта	Прочность контакта P_1 , Н	Петрографические типы глинистых пород, их состояние	Показатели, характеризующие тип контакта			
				Характер деформации	Прочность на раздавливание σ_p , МПа	Пластическая прочность P_m , МПа	Поведение при взаимодействии с водой
А	Дальний коагуляционный	$<10^{-10}$	Современные илы, а также глины и суглинки слабой степени уплотнения, водонасыщенные, скрытотекучей консистенции	Эластичновязкий	-	0,002–0,050	Не набухают
Б	Ближний коагуляционный	$\approx 10^{-10} - 10^{-9}$	Глины и суглинки слабой и средней степени уплотнения, водонасыщенные, мягкопластичные и пластичные	Упругоэластично вязкий с вязкопластичным разрушением	0,03–0,50	0,03–0,50	Проявляют слабое и среднее набухание
В	Переходный	$\approx 10^{-8} - 10^{-7}$	Глины и суглинки высокой степени уплотнения, различного водонасыщения, полутвердой и твердой консистенции; а также слабой и средней степени уплотнения, среднего и слабого водонасыщения, полутвердой и твердой консистенции	Упруговязкий с хрупким разрушением	1,3–5,0	1,3–15,0	Проявляют очень сильное набухание
Г	Фазовый	$>10^{-7}$	Аргиллиты, а также цементированные глины и суглинки различной степени уплотнения и водонасыщения, твердой консистенции	Упругий с хрупким разрушением	2–60	-	Не набухают
Д	Коагуляционный и фазовый	-	Глины и суглинки слабой и средней степени уплотнения, частично цементированные, водонасыщенные, тугопластичной и полутвердой консистенции	Упруговязкий и упругодилатантовязкий с хрупким разрушением	0,3–2,5	0,3–3,0	Проявляют слабое набухание
Е	Переходный и фазовый	-	Глины и суглинки различной степени уплотнения, частично цементированные, среднего и слабого водонасыщения, твердой консистенции	Упруговязкий с хрупким разрушением	1,5–5,5	-	Проявляют среднее набухание

странения в нем горизонтально поляризованных поперечных волн V_s . Модуль сдвига G рассчитывается по полученной скорости поперечных волн и объемному весу грунта. Коэффициент поглощения D определяется в режиме свободных затухающих колебаний образца и оценивается в процентах от критического затухания. Подробно методика испытаний изложена в работе [3].

Испытания проводились на резонансной колонке TSH-100 производства компании GCTS при сжимающих напряжениях 600 и 300 кПа, в отдельных случаях 150 кПа. Все образцы испытывались при этих стандартных условиях, чтобы исключить влияние условий проведения эксперимента на исследуемые характеристики грунтов.

Преобладающие типы контактов в грунте определялись на основании частной литогенетической и фи-

зико-механической инженерно-геологической классификации глинистых пород по типу структурных связей, предложенной В.И. Осиповым [10] (табл. 1). Она основана на представлении о том, что структурные связи «аккумулируют» в себе все особенности состава, строения и состояния глинистых пород, являясь индикаторами условий их образования и истории последующих стадийных преобразований в процессе литогенеза. По этой классификации все глинистые образования подразделяются на шесть групп. Первые четыре из них (А, Б, В, Г) характеризуются преобладанием одного определенного типа контакта — дальнего или ближнего коагуляционного, переходного, фазового. Также выделяются группы Д и Е, у которых одновременно развиты два типа контактов, а именно коагуляционный и фазовый для Д, переходный и фазовый для Е.

Таблица 2

Подразделение исследованных глинистых грунтов по типу структуры									
Обозначение образца	Место отбора	Глубина отбора, м	Геологический индекс	Разновидность грунта (по [7])	Показатели, характеризующие тип контакта				Группа глинистых пород
					Характер деформации	Прочность на раздавливание σ_p , МПа	Поведение при взаимодействии с водой		
							Относит. деф. набухания, д.ед.	Категория грунта по набуханию (по [7])	
Б1	Таманский п-ов	2,4–2,7	N ₂ kl	Глина тяжелая пылеватая тугопластичная	Упруговязкий с вязкопластичным разрушением	0,15	0,06	Слабонабухающий	Б
Б2	Таманский п-ов	3,3–3,6	N ₂ kl	Глина тяжелая пылеватая тугопластичная			0,06	Слабонабухающий	Б
В1	г. Тобольск	39,2–39,4	aP ₃	Супесь пылеватая твердая	Упруговязкий с хрупким разрушением	2,11	0,13	Сильнонабухающий	В
В2	г. Москва, Бережковская наб.	16,5–16,6	C ₃ vs	Суглинок тяжелый песчанистый твердый	-	-	0,14	Сильнонабухающий	В
Д1	г. Москва, Дмитровское ш.	9,0–9,2	gIIms	Суглинок легкий песчанистый тугопластичный	Упруговязкий с хрупким разрушением	0,67	0,05	Слабонабухающий	Д
Д2	г. Москва, Бережковская наб.	18,7	C ₃ vs	Суглинок тяжелый песчанистый полутвердый	Упруговязкий с хрупким разрушением	0,40	0,06	Слабонабухающий	Д
Д3	г. Москва, Бережковская наб.	16,6	C ₃ vs	Суглинок тяжелый песчанистый полутвердый	Упруговязкий с хрупким разрушением	0,17	0,03	Ненабухающий	Д
Д4	г. Тобольск	9,5–9,7	aQ _{II}	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый	Упруговязкий с хрупкопластичным разрушением	0,54	0,04	Слабонабухающий	Д
Д5	Московская обл., г. Электроугли	16,3–16,5	C ₃	Глина тяжелая пылеватая полутвердая	Упруговязкий с хрупким разрушением	0,30	0,06	Слабонабухающий	Д
Е1	г. Санкт-Петербург, р-н Охта	47,7–48,0	V ₁ kt	Суглинок тяжелый пылеватый цементированный твердый	-	-	0,08	Средненабухающий	Е
Е2	г. Санкт-Петербург, р-н Охта	57,5–57,9	V ₁ kt	Суглинок тяжелый пылеватый цементированный твердый					Е
Е3	г. Санкт-Петербург, р-н Лахта	57,6–57,8	V ₁ kt	Суглинок тяжелый пылеватый цементированный твердый			-	-	0,02



Установление типа контакта и подразделение грунтов по выделенным группам основываются на трех основных показателях [10]:

- характере деформации, определяемом по кривой «деформация — напряжение», получаемой при испытании на одноосное раздавливание или сдвиг;
- прочности на одноосное раздавливание σ_p ;
- характере поведения при взаимодействии с водой.

Все эти свойства являются структурно-чувствительными и зависят в основном от преобладающего типа контактов в породе.

Глинистые породы внутри указанных групп объединяются не только по вышеприведенным показателям, но и по плотности, влажности, консистенции, поскольку образование того или иного типа контактов тесно связано со степенью литификации породы и ее современным состоянием.

В связи с этим для определения преобладающих типов контактов для исследованных грунтов также определялись набухаемость (в приборе ПНГ по [6]), прочность и характер деформации (методом одноосного сжатия по [4]). Дополнительную информацию о характере межчастичных взаимодействий в грунтах дали характеристики агрегированности тонкопылеватых и глинистых частиц, а также значения числа текучести. Соответственно, были выполнены гранулометрический и микроагрегатный анализы (по [5]) и определение пластичности грунтов (по [8]).

Сопутствующие определения, необходимые для интерпретации данных и получения других расчетных характеристик грунтов, включали установление плотности грунтов (путем непосредственных измерений), влажности (весовым способом), плотности твердых частиц гидрофильных грунтов (пикнометрическим методом по [8]).

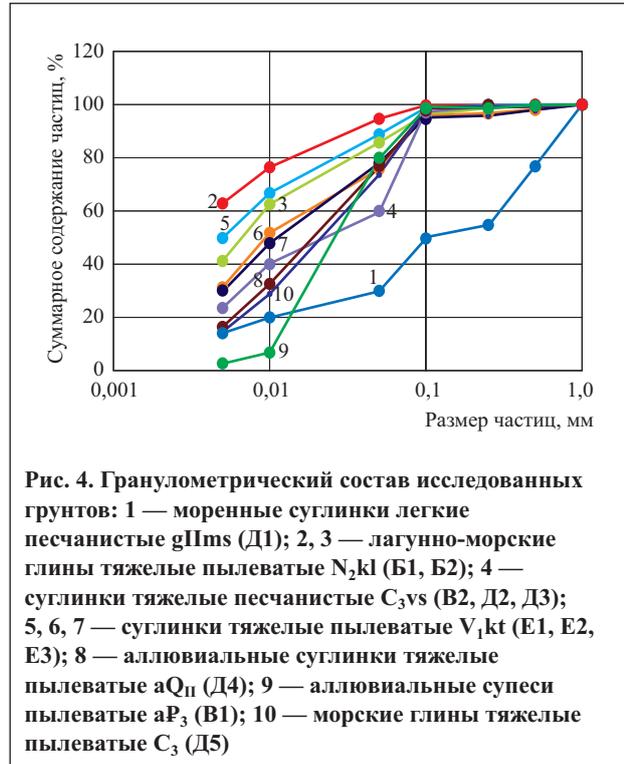
Характеристика исследованных грунтов

Исследованная выборка была представлена 12 разновидностями глинистых грунтов различного возраста морского, лагунно-морского, ледникового и аллювиального генезиса (табл. 2). Она включала:

- среднечетвертичные моренные суглинки (г. Москва, образец Д1²);
- плиоценовые лагунно-морские глины (п-ов Тамань, обр. В1, В2);
- верхнекаменноугольные морские алевриты (суглинки) (г. Москва, обр. В2, Д2, Д3);
- нижневендские морские глины (алеериты) (г. Санкт-Петербург, обр. Е1, Е2, Е3);
- среднечетвертичные аллювиальные суглинки (г. Тольск, обр. Д4);
- олигоценые аллювиальные алевриты (супеси) (г. Тольск, обр. В1);
- верхнекаменноугольные морские глины (г. Электроугли, обр. Д5).

По данным гранулометрического анализа (см. табл. 2, рис. 4) в составе большей части изученных грунтов суммарно преобладают (составляют 36–75%) фракции крупной и средней пыли.

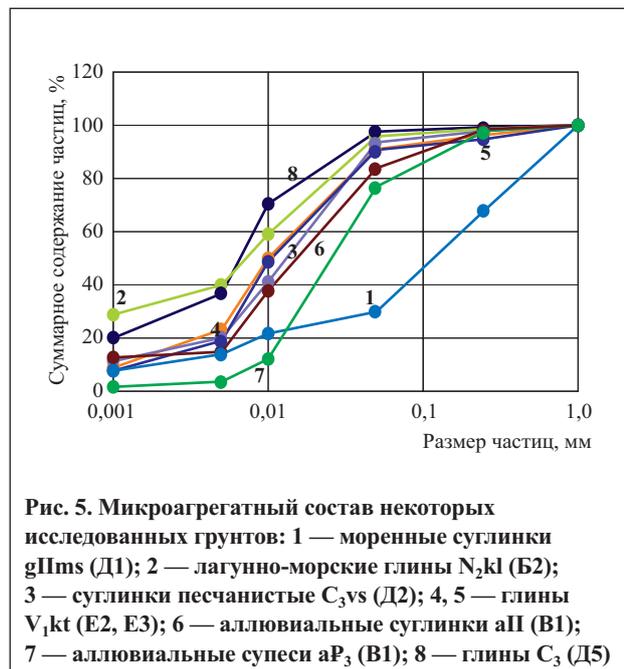
² Приведенные в списке обозначения образцов использованы далее во всем тексте и подрисуночных подписях.



глинки и плиоценовые тяжелые глины отличаются высоким (50–63%) объединенным содержанием частиц мельче 0,005 мм. Наименьшим (5–14%) содержанием частиц размером менее 0,005 мм характеризуются олигоценые аллювиальные супеси и среднечетвертичные моренные суглинки.

Пониженное содержание частиц мельче 0,005 мм у большинства изученных грунтов по данным микроагрегатного анализа по сравнению с гранулометрическим свидетельствует о наличии неводостойких связей между их первичными частицами.

Наиболее низким — близким к 1 — коэффициентом агрегированности для частиц размером менее 0,005 мм $K_{a<0,005}$ (по И.М. Горьковой) характеризуются плиоце-



новые лагунно-морские глины (Б1, Б2, $K_{a<0,005}=1,04$) и среднечетвертичные моренные суглинки (В2, $K_{a<0,005}=1,03$), что косвенно указывает на преобладание в них коагуляционных контактов (рис. 5). Наибольший же коэффициент агрегированности ($K_{a<0,005}=1,40\pm 1,58$) зафиксирован в нижневендских суглинках, что говорит о наличии в них жестких, вероятнее всего цементационных, контактов, не разрушающихся при взаимодействии с водой. Но и в них в агрегированном состоянии находятся не все частицы, и содержание глинистой фракции составляет 8–9%. Связь между глинистыми частицами, вероятно, осуществляется через контактные взаимодействия другого рода — скорее всего, переходные либо коагуляционные.

Подразделение исследованных грунтов по типу структуры на основе комплекса выполненных определений приведено в табл. 2, а характеристика влагосодержания, физических и физико-химических свойств — в табл. 3.

Проведенный анализ позволил выделить в изученной выборке 4 группы грунтов с разными типами структуры.

1. Ближние коагуляционные структуры (группа Б) характерны для плиоценовых глин Таманского полуострова (обр. Б1 и Б2).

2. Переходные структуры с преобладанием точечных контактов (группа В) имеют грунты твердой консистенции — олигоценые аллювиальные супеси из г. Тобольска (обр. В1) и песчанистые воскресенские глины (г. Москва, обр. В2).

3. Смешанные коагуляционно-кристаллизационные структуры с преобладанием фазовых и коагуляционных контактов (группа Д) характерны для 5 образцов (Д1–Д5) разного возраста и генезиса, имеющих полутвердую (иногда тугопластичную) консистенцию.

4. Наконец, смешанная структура с сочетанием переходных и фазовых контактов (группа Е) присуща

твердым нижневендским глинам котлинского горизонта. Наиболее вероятен преимущественно конденсационный тип структуры с развитием цементационных контактов с опаловым цементом.

Грунты групп Д и Е характеризуются наименьшими показателями пористости и влажности, а группы Б — наибольшими. При этом практически все образцы на момент проведения испытаний являлись насыщенными водой.

Установленные закономерности и их обсуждение

Результаты динамических испытаний для 13 разновидностей глинистых грунтов (включая 1 модельный) представлены в табл. 4. Приведенные в ней значения динамических характеристик разбиты по трем разным диапазонам сдвиговых деформаций: (1) упругих деформаций не более 0,001%; (2) деформаций не выше 0,01%; (3) деформаций до 0,1%. В табл. 4 и далее по тексту используются следующие обозначения абсолютных и приведенных показателей динамических свойств:

- G_{max}, D_{min} — динамический модуль сдвига (МПа) и коэффициент поглощения (%) в области сдвиговых деформаций до 0,001%;
- $G_{\gamma=0,01\%}, D_{\gamma=0,01\%}$ — то же до 0,01%;
- $G_{\gamma=0,1\%}, D_{\gamma=0,1\%}$ — то же на уровне 0,1%;
- $G_{0,1\%}/G_{max}$ — отношение динамического модуля сдвига при сдвиговой деформации на уровне 0,1% к его величине при сдвиговой деформации порядка 0,001%;
- $D_{0,1\%}/D_{min}$ — отношение коэффициента поглощения при сдвиговой деформации на уровне 0,1% к его величине при сдвиговой деформации порядка 0,001%.

Анализ представленных данных демонстрирует прежде всего определяющее влияние возникающих при динамическом воздействии сдвиговых деформаций на динамические свойства грунтов (рис. 6). Для

Таблица 3

Характеристика состава, физических и физико-химических свойств исследованных глинистых грунтов													
Группа глинистых пород		Обозначение образца	Глубина отбора, м	Геологический индекс	Плотность грунта, ρ , г/см ³	Плотность твердых частиц грунта ρ_s , г/см ³	Естественная влажность W_e , %	Влажность нижнего предела пластичности W_p , %	Влажность верхнего предела пластичности W_L , %	Число пластичности I_p	Число текучести I_L	Коэффициент пористости e	Степень влажности S_r
Обозначение группы	Тип структуры												
Б	Ближняя коагуляционная	Б1	2,4–2,7	N ₂ kl	1,73	2,62	43,5	35,7	66,2	30,5	0,26	1,17	0,97
		Б2	3,3–3,6	N ₂ kl	1,75	2,80	40,0	25,9	62,4	36,5	0,39	1,24	0,90
В	Переходная	В1	39,2–39,4	aP ₃	1,92	2,72	29,5	35,9	41,2	5,3	-1,21	0,83	0,96
		В2	16,5–16,6	C ₃ vs	2,26	2,80	15,1	19,8	34,0	14,2	-0,54	0,42	0,96
Д	Смешанная коагуляционно-кристаллизационная	Д2	18,7	C ₃ vs	2,15	2,79	22,7	22,4	35,5	13,1	0,02	0,59	1,00
		Д3	16,6	C ₃ vs	2,20	2,84	23,2	22,5	36,1	13,6	0,06	0,54	1,00
		Д5	16,3–16,5	C ₃	1,99	2,79	28,4	26,6	64,8	38,2	0,05	0,80	0,99
		Д4	9,5–9,7	a _{II}	2,00	2,71	25,3	25,1	41,1	16,0	0,01	0,70	0,98
		Д1	9,0–9,2	gIIms	2,24	2,70	13,8	11,2	19,4	8,2	0,32	0,37	1,00
Е	Смешанная переходно-конденсационная	Е3	57,6–57,8	V ₁ kt	2,25	2,75	12,3	20,2	33,4	13,2	-0,60	0,37	0,91
		Е1	47,7–48,0	V ₁ kt	2,15	2,74	17,0	24,0	38,0	14,0	-0,50	0,49	0,95
		Е2	57,5–57,9	V ₁ kt	2,25	2,78	13,7	20,0	32,0	12,0	-0,52	0,40	0,94



всех разностей грунтов получено снижение динамического модуля и увеличение коэффициента поглощения с ростом деформации. Это обусловлено нелинейной упругостью грунтов, а затем и разрушением части структурных связей и появлением пластических деформаций. Отмеченная закономерность хорошо согласуется с опубликованными данными других исследователей. Вместе с тем грунты с разными типами структуры проявляют определенные особенности изменения динамических характеристик с ростом деформаций.

1. Так, наибольшей жесткостью при минимальных деформациях ($G_{max}=187\div 241$ МПа при сжимающих напряжениях $\sigma_m=300$ кПа) характеризуются грунты групп В и Е с преобладанием в них переходных и цементационных контактов, а наименьшие значения (35-48 МПа) отмечены у глинистых грунтов группы Б с близкими коагуляционными контактами (см. табл. 4, рис. 7). В целом промежуточное положение занимают грунты группы Д, в которых за счет присутствия существенной доли коагуляционных контактов величина G_{max} изменяется в диапазоне от 68 до 165 МПа, составляя в среднем около 100 МПа. Эти различия сохраняются и при наибольших достигнутых деформациях (около 0,1%), хотя и наблюдается некоторое сближение жесткости грунтов с разным типом структуры по мере их деформирования.

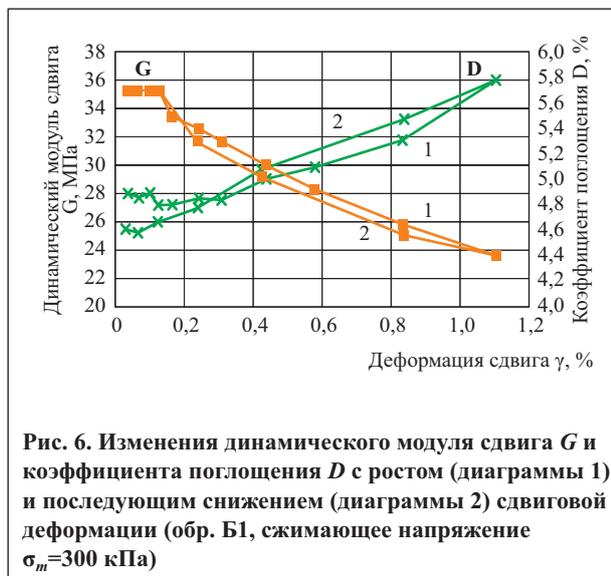


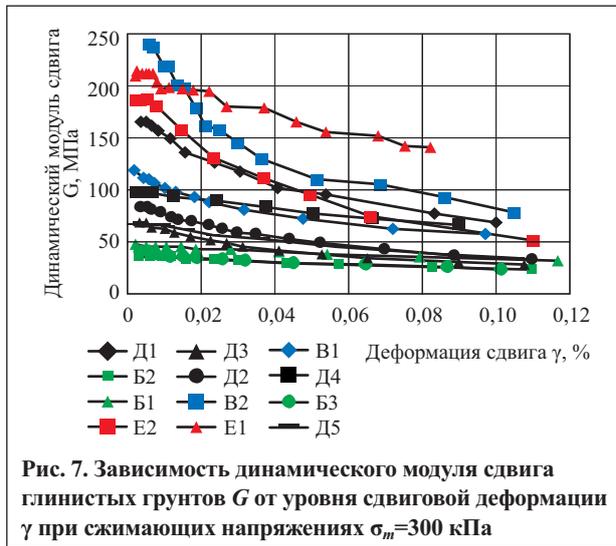
Рис. 6. Изменения динамического модуля сдвига G и коэффициента поглощения D с ростом (диаграммы 1) и последующим снижением (диаграммы 2) сдвиговой деформации (обр. Б1, сжимающее напряжение $\sigma_m=300$ кПа)

По мере увеличения деформации на диаграммах некоторых грунтов групп Е и иногда В отмечаются «ступени» (см. рис. 7) — участки с неизменным или незначительно изменяющимся динамическим модулем сдвига. По всей видимости, это обусловлено поэтапным деформированием контактов различной жесткости. Графики снижения модуля сдвига с ростом дефор-

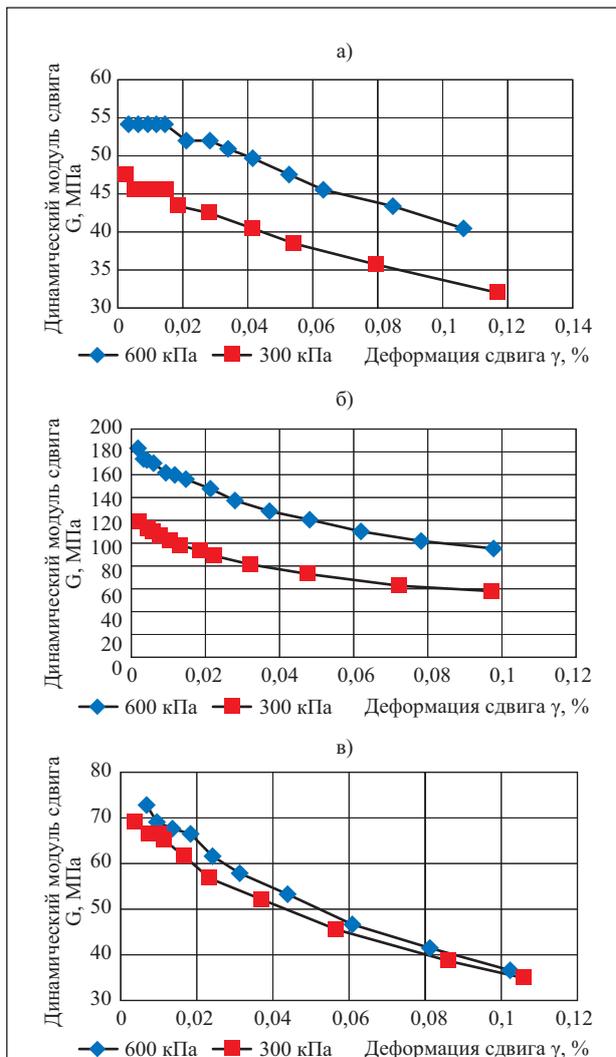
Таблица 4

Динамические характеристики глинистых грунтов при разной величине сжимающих напряжений*										
Группа глинистых пород		Название образца	Динамический модуль сдвига при разных уровнях деформации сдвига, МПа			$G_{0,1\%}/G_{max}$	Коэффициент поглощения при разном уровне деформации сдвига, %			$D_{0,1\%}/D_{min}$
Группа	Тип структуры		G_{max}	$G_{\gamma=0,01\%}$	$G_{\gamma=0,1\%}$		D_{min}	$D_{\gamma=0,01\%}$	$D_{\gamma=0,1\%}$	
Б	Ближняя коагуляционная	Б1	48	45	32	0,67	3,88	3,92	4,72	1,22
			54	54	40	0,74	3,30	3,33	4,08	1,24
		Б2	35	35	24	0,67	4,80	4,80	5,78	1,20
			43	41	30	0,70	4,12	4,12	5,17	1,35
			40	36	24	0,59	6,06	5,99	7,22	1,19
		43	40	25	0,57	5,42	5,44	7,29	1,35	
В	Переходная	В1	119	102	58	0,49	2,34	2,71	5,52	2,36
			184	162	95	0,52	1,70	1,88	3,61	2,12
		В2	241	219	78	0,32	2,12	2,37	5,75	2,71
Д	Смешанная коагуляционно-кристаллизационная	Д2	84	78	33	0,40	4,69	5,34	7,40	1,58
			68	62	29	0,42	4,52	4,81	7,64	1,69
		Д5	69	66	35	0,50	3,31	3,34	5,39	1,63
			73	69	37	0,50	2,99	3,10	5,25	1,76
		Д4	97	93	67	0,69	3,36	3,57	5,27	1,57
			103	98	65	0,64	3,47	3,69	5,12	1,48
		Д1	165	157	69	0,42	6,05	6,76	14,01	2,32
258	144		36	0,14	6,99	7,68	23,75	3,40		
Е	Смешанная переходно-конденсационная	Е3	-	169	148	-	-	2,93	1,33	-
		Е1	215	197	141	0,66	2,85	3,15	5,44	1,91
		Е2	187	158	52	0,28	5,53	6,50	-	-
			305	273	130	0,42	3,73	4,46	7,90	2,12

* Простым шрифтом даны показатели при сжимающих напряжениях $\sigma_m=300$ кПа, полужирным — при $\sigma_m=600$ кПа.



маций грунтов групп Б и Д имеют плавный вид, что связано с большей подвижностью частиц на коагуляционных контактах.

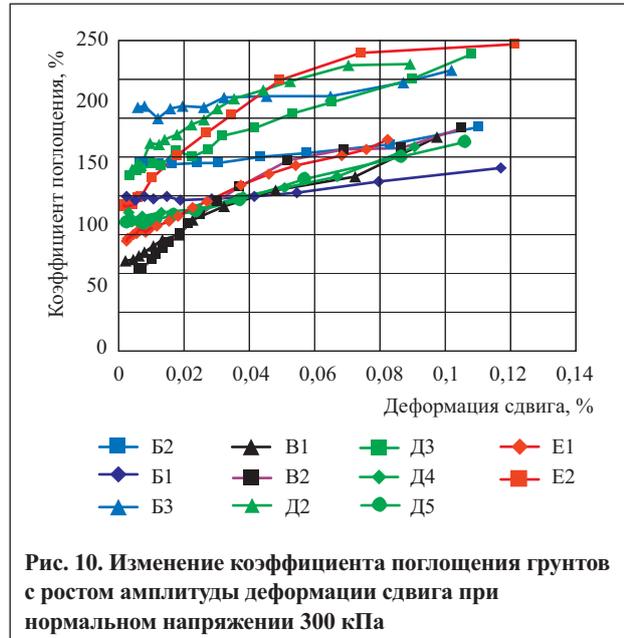
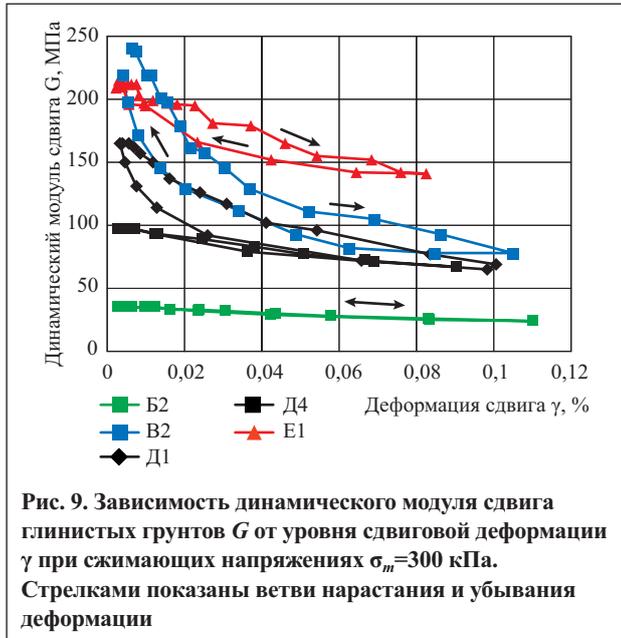


2. С ростом сдвиговых деформаций во всех исследованных грунтах происходит снижение жесткости, но в зависимости от типа структуры в одних это происходит в большей мере, нежели в других. Это наглядно отражает величина отношения динамического модуля сдвига при сдвиговой деформации на уровне 0,1% к максимальному ($G_{0,1\%}/G_{max}$), которая является количественной мерой степени нелинейности упругих характеристик грунтов. Наименьшие изменения (см. табл. 4) отмечены для упругости грунтов группы Б: отношение $G_{0,1\%}/G_{max}$ составило для них 0,59–0,67, что объясняется высокой относительной подвижностью частиц на преобладающих в них коагуляционных контактах. Несколько большими изменениями упругого модуля в том же диапазоне деформаций характеризуются грунты с наиболее жесткими — фазовыми и цементационными — контактами. Отношение $G_{0,1\%}/G_{max}$ для грунтов групп Д и Е составляет в среднем 0,49 и 0,47 соответственно. В наибольшей мере динамический модуль сдвига снижается по мере увеличения деформаций у грунтов с переходными структурами группы В (в среднем $G_{0,1\%}/G_{max}=0,40$).

3. Наши исследования также подтвердили и хорошо известную закономерность возрастания динамического модуля сдвига глинистых грунтов с повышением сжимающих напряжений (см. табл. 4), связанную с увеличением межчастичного трения. Выяснено, что наиболее отчетливо этот эффект проявляется для грунтов групп Б и В с коагуляционными и переходными структурами (рис. 8, а, б) и менее контрастно выражен у грунтов групп Д и Е, жесткость которых в значительной мере определяется фазовыми и цементационными контактами (рис. 8, в).

4. Интересной особенностью грунтов, в структуре которых присутствуют жесткие контакты, является некоторый «гистерезис» упругих свойств, проявляющийся в более низких значениях модуля сдвига на ветви снижения деформации. То есть при уменьшении касательных напряжений и постепенном возвращении к уровню деформаций около 0,001% у ряда грунтов эта часть графика проходит ниже ветви увеличения деформаций (рис. 9). При этом начальное и конечное значения G_{max} совпадают, что свидетельствует о возможности отнесения метода использования резонансной колонки к категории неразрушающих. Следовательно, «гистерезис» упругих свойств связан не с разрушением части контактов и появлением микропластических деформаций, а с потерей энергии на работу упругих деформаций (т.е. в конечном итоге на внутреннее теплоизлучение). Этот эффект проявляется в грунтах со смешанными и переходными структурами (из групп В, Д и Е), но отсутствует в грунтах с коагуляционным типом структуры (из группы Б). Таким образом, его можно интерпретировать как временный термокинетический эффект — повышение подвижности частиц на жестких контактах за счет повышения их температуры.

5. Все исследованные грунты, как уже отмечалось выше, характеризуются постепенным увеличением поглощения с ростом амплитуды сдвиговой деформации. При этом в зависимости от типа структуры минимальные значения коэффициента поглощения D_{min} в изученном диапазоне сжимающих напряжений варьируют от 1,7 до

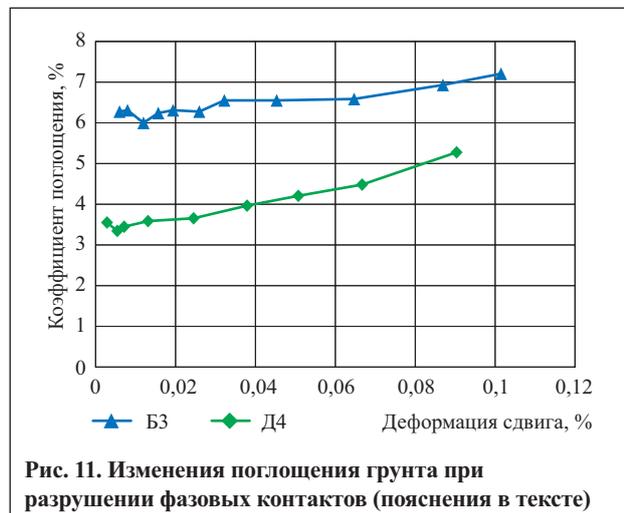


6,0%, а максимальные при деформациях порядка 0,1% достигают 8–14%, а иногда и более (см. табл. 4). При этом наибольшее начальное поглощение присуще грунтам групп Б и Д с наличием коагуляционных контактов ($D_{min}=3,3\div 6,0\%$), а наименьшее ($D_{min}=2,1\div 3,8\%$) — грунтам групп В и Е с более жесткими взаимодействиями между структурными элементами.

Вместе с тем для грунтов с переходными и переходно-конденсационными структурами (из групп В и Е) характерно наибольшее возрастание поглощения D с ростом деформаций (с 2–4 до 6–8%), тогда как у грунтов с коагуляционными структурами в том же диапазоне деформаций величина D изменяется от 4,0–6,3 до 4,8–7,2%. Грунты с коагуляционно-кристаллизационными структурами (из группы Д) занимают промежуточное положение (рис. 10). Все это, очевидно, обусловлено особой подвижностью частиц на коагуляционных контактах, существующих за счет дальнедействующих молекулярных связей, которая определяет меньшие изменения потерь энергии на работу нелинейно-упругих деформаций. Особенно наглядно это демонстрирует сравнение диаграмм для образцов Б3 и Д4 (рис. 11), которые имеют одинаковые влажность, пористость и состав, но при этом Б3 искусственно сформирован из Д4 и в отличие от последнего имеет коагуляционную структуру.

6. Так же как и для упругих свойств, при уменьшении амплитуды сдвиговых деформаций у всех грунтов наблюдается гистерезис поглощения — на ветви уменьшения деформации коэффициент поглощения оказывается немного выше (рис. 12). Присутствует и общая закономерность снижения этого коэффициента с ростом сжимающих напряжений (см. рис. 12, б), но она может быть не выражена у грунтов со значительной долей фазовых контактов (рис. 12, в). Кроме того, на приведенных графиках видно, что снижение динамического модуля сдвига, равно как и повышение коэффициента поглощения, у грунтов со смешанными структурами фиксируется лишь с некоторого порогового уровня сдвиговой деформации, ниже которого наблюдается некая «полочка», собственно, и соответствующая значениям G_{max} и D_{min} . Величина этой по-

роговой деформации составляет 0,004–0,012% для грунтов с коагуляционно-кристаллизационными структурами (из группы Д) и не превышает 0,004–0,007% для грунтов с переходно-конденсационными структурами (из группы Е). Для грунтов же с коагуляционными и переходными структурами эта предельная деформация на диаграммах не выделяется (возможно, составляет менее 0,001%, поэтому не была зафиксирована экспериментально). При этом изменения упругих и диссипативных характеристик у грунтов с коагуляционной структурой носят замедленный по сравнению с другими грунтами характер, а при переходной структуре — напротив, ускоренный до деформаций порядка 0,03% (выше которой темпы изменения соответствующих показателей снижаются) (см. рис. 7, 10). Такие особенности изменений динамических свойств глинистых грунтов групп Б и В являются, на наш взгляд, следствием большей подвижности структурной сетки частиц в целом — как за счет более дальнедействующих сил на коагуляционных контактах, так и за счет большей «эластичности», податливости каркаса при точечных взаимодействиях частиц, что отражается и на специфике преобразования энергии упругих деформаций.



Выводы

1. Тип структуры глинистого грунта оказывает определяющее влияние как на величины показателей его динамических свойств, так и на особенности их изменений с увеличением амплитуды сдвиговой деформации. При этом особенно велика роль коагуляционных контактов, присутствие которых существенно снижает величину динамического модуля сдвига и повышает значение коэффициента поглощения. Кроме того, степень изменения этих показателей с ростом деформации у грунтов с коагуляционной и коагуляционно-кристаллизационной структурой меньше, чем у грунтов с переходной и смешанной переходно-конденсационной структурой, что объясняется высокой относительной подвижностью частиц на коагуляционных контактах.

2. С ростом сдвиговых деформаций во всех глинистых грунтах происходит снижение жесткости, но в зависимости от типа структуры в одних это происходит в большей мере, нежели в других. Наименьшие изменения упругости отмечены для грунтов с коагуляционной структурой, несколько большими изменениями

упругого модуля в том же диапазоне деформаций характеризуются грунты с наиболее жесткими (фазовыми и цементационными) контактами, а в наибольшей мере он снижается у грунтов с переходными структурами.

3. Наибольшие начальные значения коэффициента поглощения присущи грунтам групп Б и Д с наличием коагуляционных контактов, а наименьшие — грунтам групп В и Е с более жесткими взаимодействиями между структурными элементами. Вместе с тем для грунтов с переходными и переходно-конденсационными структурами характерно наибольшее возрастание поглощения с деформацией, а для грунтов с коагуляционной структурой — наименьшее. Промежуточное положение занимают грунты с коагуляционно-кристаллизационными структурами. Следовательно, высокая подвижность частиц на коагуляционных контактах определяет меньшие изменения потерь энергии на работу нелинейно-упругих деформаций.

4. Существует по крайней мере два пороговых уровня сдвиговой деформации, при достижении которых происходят заметные изменения упругих и диссипативных свойств грунтов. Первый из них соответствует значениям G_{max} и D_{min} и знаменует собой начало деградации динамического модуля сдвига и роста поглощения. Величина этой первой пороговой деформации составляет не более 0,004–0,007% у грунтов с переходно-конденсационными структурами (из группы Е) и порядка 0,004–0,012% у грунтов с коагуляционно-кристаллизационными структурами (из группы Д). У грунтов с коагуляционным и переходным типами структуры этот порог не выявлен. Вторая пороговая деформация для всех грунтов близка к уровню 0,03%, выше которого темпы изменений показателей динамических свойств снижаются и с дальнейшим ростом деформации может происходить их сближение для грунтов с различными типами структуры.

5. В зависимости от типа структуры глинистого грунта неодинаково влияние сжимающих напряжений как на величину динамического модуля сдвига, так и на значение коэффициента поглощения. В частности, у некоторых грунтов со смешанными структурами это влияние может быть практически не выражено.

6. Исследования гистерезиса динамического деформирования глинистых грунтов с разными типами структуры показали, что до сдвиговых деформаций порядка 0,1% существенного нарушения структурных связей не происходит, а, следовательно, метод резонансной колонки может считаться неразрушающим.

7. Нелинейная упругость глинистых грунтов в диапазоне малых деформаций является следствием теплотер и некоторого увеличения подвижности частиц на контактах, в том числе и на жестких — фазовых и цементационных. В наибольшей степени этот эффект выражен для грунтов с переходными и переходно-конденсационными структурами, но отсутствует у грунтов с коагуляционным типом структуры и может интерпретироваться как временное термокинетическое повышение подвижности частиц на жестких контактах за счет повышения их температуры. ☞

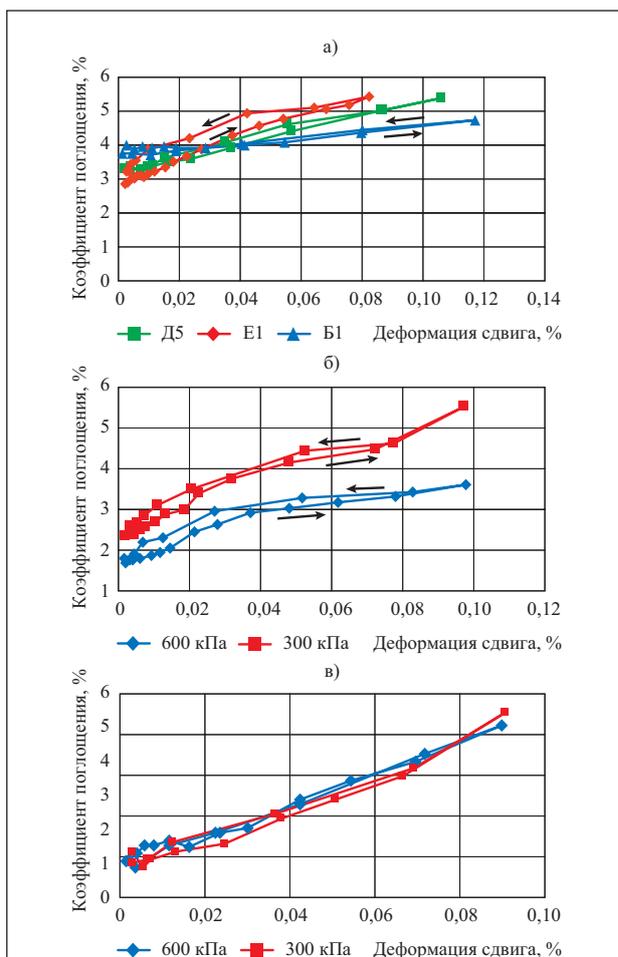


Рис. 12. Гистерезис поглощения в глинистых грунтах со структурами: а — коагуляционными, коагуляционно-кристаллизационными и переходно-конденсационными (Б1, Е1, Д5, при сжимающих напряжениях $\sigma_m=300$ кПа); б — переходными (В1, при $\sigma_m=300$ и 600 кПа); в — смешанными коагуляционно-кристаллизационными (Д4, при $\sigma_m=300$ и 600 кПа). Стрелками показаны ветви нарастания и убывания деформации

Исследования поддержаны грантом РФФИ № 13-05-01048-а «Закономерности деформирования дисперсных грунтов в диапазоне малых деформаций».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский Е.А., Владов М.Л., Кулинарева Е.С., Коваленко В.Г. Использование данных сейсмоакустических исследований для оценки динамической неустойчивости грунтов в массиве // Разведка и охрана недр. 2005. № 12. С. 41–46.
2. Вознесенский Е.А., Кулинарева Е.С., Фуникова В.В. Природа и закономерности поглощения волн напряжений в грунтах // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2011. № 4. С. 39–47.
3. Вознесенский Е.А., Сидорова А.И. Оценка динамических свойств песчаных грунтов в разрезе оснований ответственных сооружений методами малоамплитудных испытаний на резонансной колонке и крутильного сдвига // Инженерная геология. 2009. № 2. С. 18–25.
4. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. М.: МНТКС, 2010.
5. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Госстрой СССР, 1979.
6. ГОСТ 24143-80. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик набухания и усадки. М.: Госстрой СССР, 1980.
7. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2011.
8. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстрой СССР, 1984.
9. Ишихара К. Поведение грунтов при землетрясениях. СПб.: Изд-во НПО «Геореконструкция-Фундаментпроект», 2006. 383 с.
10. Осипов В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 232 с.
11. Пузырев Н.Н. Объекты сейсмических исследований. Введение в общую сейсмологию. Новосибирск: Изд-во НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1997. 301 с.
12. СП 26.13330.2012. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. М.: Минрегион России, 2012.
13. Dvorkin J., Mavko G., Nur A. The effect of cementation on the elastic properties of granular material // Mechanics of Materials. 1991. № 3-4. P. 207–217.
14. Hardin B.O., Black W.L. Vibration modulus of normally consolidated clay // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, 1968. V. 94. № 2. P. 353–369.
15. Hatanaka M., Suzuki Y., Kawasaki T., Endo M. Cyclic undrained shear properties of high quality undisturbed Tokyo gravel // Soils and Foundations. 1988. V. 28. P. 57–68.
16. Iwasaki T., Tatsuoka F., Takagi Y. Shear moduli of sands under cyclic torsional shear loading. // Soils and Foundations. 1978. V. 18. № 1. P. 39–56.
17. Sagaseta C., Cuellar V., Pastor M. Cyclic loading // Proceedings of the 10th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Florence, 1991. V. 3. P. 981–999.
18. Trhliková J., Mašín D., Boháč J. Small-strain behavior of cemented soils // Géotechnique. 2012. V. 62. № 10. P. 943–947.
19. Vucetic M., Dobry R. Effects of the soil plasticity on cyclic response // Journal of Geotechnical Engineering. 1991. V. 117. P. 89–107.

ЖУРНАЛ

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

ЖУРНАЛ
GeoРиск

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

e-mail: pr@geomark.ru

ИНДУКТИВНЫЕ МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПРОСАДОЧНОСТИ

SOME POSSIBILITIES OF INDUCTIVE MATHEMATICAL MODELING OF THE DEGRADATION PROCESS OF SUBSIDENCE LOESS SOIL PROPERTIES

МОКРИЦКАЯ Т.П.

Доцент кафедры геологии и гидрогеологии и заместитель декана геолого-географического факультета Днепропетровского национального университета им. Олесь Гончара, к.г.н., г. Днепропетровск, Украина, mokritska@i.ua

MOKRITSKAYA T.P.

Associate professor of the geology and hydrogeology department and deputy dean of the geology and geography faculty of the Oles Gonchar Dnepropetrovsk National University, PhD (candidate of science in Geology), Dnepropetrovsk, Ukraine, mokritska@i.ua

Ключевые слова:

лесс; деградация просадочных свойств; индуктивное математическое моделирование; метод группового учета аргументов (МГУА).

Key words:

loess; subsidence properties degradation; inductive mathematical modeling; group method of data handling (GMDH).

Аннотация

В статье приведены результаты анализа и прогноза деградации просадочности грунта с помощью индуктивного математического моделирования на основе метода группового учета аргументов (МГУА). Рассмотрены различные сценарии развития событий на примерах короткого временного ряда экспериментальных данных и представительной выборки. Анализ факторных переменных в зависимости от вида используемой индуктивной математической модели позволяет упорядочить ряд по важности показателей. Апробация методики решения прогнозных задач по деградации просадочных свойств выполнена на примере нескольких объектов, расположенных в зоне распространения просадочных лессовых грунтов большой мощности (на территории г. Никополя в Украине). Получены статические и динамические модели деградации, которые могут быть применены для решения задач по изменениям просадочных свойств во времени и по нахождению области предельных состояний.

Введение

Изучение региональных особенностей строения перигляциальной (лессовой) формации на территории Украины (В.Ф. Краевым, И.С. Комаровым и др. [4]) показало, что в окрестностях г. Никополя ее мощные толщи характеризуются значительными величинами относительной просадочности в области дополнительных напряжений. Построение математических моделей развития просадок и процесса деградации просадочности, в том числе в области природных напряжений, представляет научный интерес, несмотря на длительность изучения лессовых пород.

Изменения свойств формации связывают с функционированием природно-техногенных систем различного назначения — гидротехнических, строительных, горно-металлургических, связанных с атомной промышленностью, селитебных [1]. В данной работе рассмотрены особенности изменений состояния и свойств лессовой формации на примере десяти участков, изученных в 1957–2006 гг. Материалы исследований были переданы автору для научной обработки. Все изучаемые объекты расположены на территории г. Никополя и характеризуются сходством инженерно-геологических условий. В составе зон влияния зданий и сооружений малой и средней этажности до изученной глубины 44 м присутствуют отложения *причерноморско-дофиновского*, *бугского*, *прилукско-витачевского* нерасчлененного, *днепровского* и *завадовского* горизонтов. Глубина залегания подземных вод изменялась от 16–20 до 38 м и более.

Методы исследований

По результатам изучения свойств грунтов зоны аэрации (до глубины 15–44 м) была создана база данных, включающая 761 строку записей результатов лабораторных определений показателей свойств лессовидных грунтов из просадочных горизонтов. Количество полей (переменных) составило 73. В качестве

Abstract

The article presents results of analysis and forecast of degradation of subsidence soil properties using inductive mathematical modeling on the basis of the group method of data handling (GMDH). Some scenarios of degradation development are considered by the examples of a short time series of experimental data and a representative data sample. Analysis of factor variables depending on the inductive mathematical model type permits to sort the series by importance of indicators. The method of solution of forecast tasks on subsidence properties degradation is tested by the examples of several objects located in the zone of spread of subsiding loess of great thickness (in the territory of Nikopol in Ukraine). Statistical and dynamical degradation models that can be applied to solve the tasks on changes of subsidence properties depending on time and to determine the area of limiting states are obtained.



переменных были выбраны стандартные показатели свойств и состояния грунтов, методика определения которых за последнее время существенно не изменилась [6]. Количество записей, характеризующих состояние верхних (залегающих под почвенно-растительным слоем) нерасчлененных отложений *причерноморско-дофиновского* горизонта составило 268.

Статистический анализ показал, что по сравнению с другими городами региона нерегулярность изучения свойств зоны аэрации г. Никополя меньше влияет на неоднородность выборки. Значения коэффициента вариации, асимметричность показателей физического состояния, гранулометрического состава, механических свойств для территории г. Никополя меньше на 1–2 порядка. Величины коэффициентов ранговой корреляции указывают на слабую степень нарушения корреляционных связей. Следствием нечеткой выраженности детерминизма связей между переменными является малая достоверность моделей, созданных методами классического регрессионного анализа. Использование полиномиальной нелинейной модели (созданной методом группового учета аргументов — МГУА) для описания связи между физическими и механическими свойствами способствует большей объективности и точности прогноза, так как нелинейность в этом случае отображается. Моделирование связи относительной просадочности и ее факторов выполнено с привлечением авторского программного обеспечения [7].

Результаты исследований

Для прогноза изменений свойств массива в области природных напряжений была изучена изменчивость относительной просадочности на ступени нормального давления 0,05 МПа. Состав факторных переменных определялся по результатам анализа зависимости относительной просадочности при давлении 0,05 МПа ($S_{SL_{0,05}}$, д.ед.) от двух наборов параметров: координат (условного года от начала наблюдений t , глубины точки отбора z , м), показателей физического состояния; (2), координат и содержания фракций (типы моделей 1 и 2 в табл. 1). Так как в набор включены координаты, то особенности строения массива и изменчивости свойств в течение наблюдений заданы в неявной форме. Гранулометрический состав определялся реже, чем показатели физических свойств и просадочности, объем выборок неодинаков.

Индуктивные модели обладают сходством: имеют одинаковые порядок и количество членов полинома, подтверждена зависимость в них значений коэффициентов от координат (времени и глубины отбора). Наибольшие величины коэффициентов при линейных членах указывают на переменные, которые способствуют детерминизму модели. Факторными переменными относительной просадочности оказались показатели физических свойств: влажность на границе раскатывания ω_p (д. ед.), плотность грунта ρ (г/см³) и содержание крупной (0,25–0,1 мм) и тонкой (< 0,005 мм) фракций. В результате анализа выборки с новым набором переменных была получена модель следующего вида:

$$S_{SL_{0,05}} = 0,004\rho + 0,014\rho \cdot R_{L_{0,05}} - 0,002\rho^2 - 0,008\rho^2 \cdot R_{L_{0,05}} + 0,001t \cdot R_{L_{0,05}} - 0,001t \cdot \rho \cdot R_{L_{0,05}}, \quad (1)$$

где $S_{SL_{0,05}}$ — относительная просадочность на ступени 0,05 МПа, д. ед.; ρ — плотность грунта, г/см³; $R_{L_{0,05}}$ — содержание глинистых частиц размером менее 0,005 мм, %; t — год от начала ряда, лет.

Сходимость функций, аппроксимирующих фактические и прогнозные значения (рис. 1), в среднем достаточна. Количество записей, содержащих результаты определения фракций и относительной просадочности, достаточно для построения модели деградации просадочности методом группового учета аргументов.

Прогноз выполнялся по следующему алгоритму. На первом этапе были получены значимые модели парной регрессии между влажностью и факторными переменными. На втором был выполнен расчет прогнозных значений факторных переменных по регрессионным моделям при заданных значениях природной влажности. Было принято, что разность между влажностью полного водонасыщения и природной (начальной) является максимально возможным интервалом приращенной влажности. На третьем этапе по результатам использования индуктивной математической модели (описываемой формулой (1)) был выполнен расчет прогнозных значений относительной просадочности. Максимальный срок прогноза составил 1 год, т.к. длительность ряда была 4 года. Значения глубины были заданы равными 2 м, что соответствует глубине расположения зоны просадки.

Анализ результатов (рис. 2) показывает, что деградация просадочных свойств в интервале давлений, близких к природным, при резком (аварийном) повышении влажности будет сопровождаться увеличением содержания частиц размером менее 0,005 мм и ростом

Таблица 1

Параметры моделей зависимости относительной просадочности $\epsilon_{SL_{0,05}}$ от физического состояния и гранулометрического состава*					
Тип модели	n	Коэффициенты при факторных переменных (членах полинома)**			
1. Зависимость от физического состояния: $\epsilon_{SL_{0,05}} = f(t, z, \omega_L, \omega_p, \omega, \rho_S, \rho)$	86	t	z	ω_p	ρ
		+	+	0,03	+
2. Зависимость от гранулометрического состава: $\epsilon_{SL_{0,05}} = f(t, z, R_{0,1}, R_{0,05}, R_{0,01}, R_{0,005}, R_{L_{0,005}})$	19	t	z	$R_{0,1}$	
		-0,267	-3,81	-3,809	-3,812

* n — количество членов в выборке; t — год от начала ряда; z — глубина отбора, м; ω_L — влажность на границе текучести, д.ед.; ω_p — влажность на границе раскатывания, д. ед.; ω — природная влажность, д. ед.; ρ — плотность грунта, г/см³; ρ_S — плотность частиц грунта, г/см³; $R_{0,1}, R_{0,05}, R_{0,01}, R_{0,005}$ и $R_{L_{0,005}}$ — содержание фракций гранулометрического состава с размером частиц 0,25–0,1, 0,1–0,05, 0,05–0,01, 0,01–0,005, менее 0,005 мм, %.

** Для каждой модели в верхней строке указаны используемые факторные переменные, в нижней — коэффициенты при линейных членах полинома в формуле, описывающей данную модель. Знак «+» означает, что в модели переменная присутствует как нелинейная.

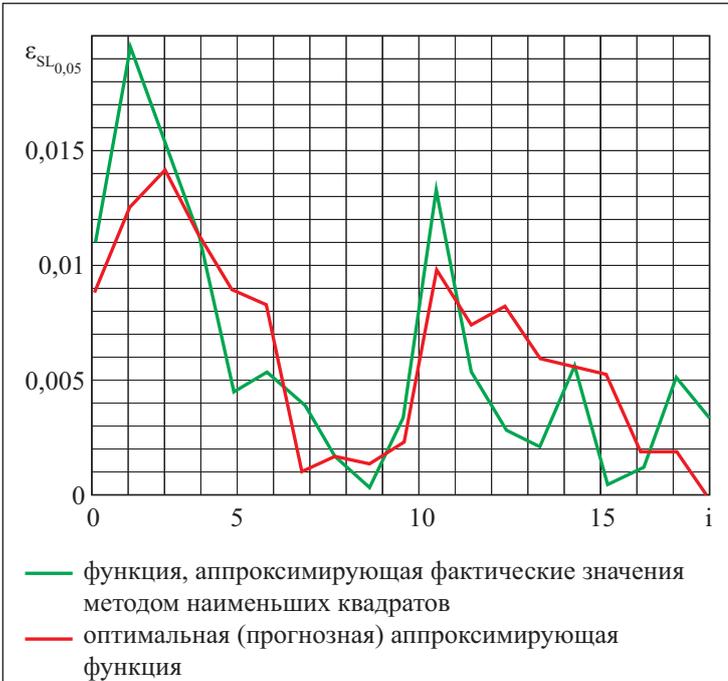


Рис. 1. Графики аппроксимирующей и оптимальной (прогнозной) функций относительной просадочности $\epsilon_{SL,0,05}$ (д. ед.) при нормальном давлении 0,05 МПа, полученные по формуле (1) по данным 1989–1992 гг. для территории г. Никополя. i — порядковый номер точки в ряду

плотности. Повышение влажности до 0,2 приведет к резкому снижению просадочных свойств, а до 0,25 -- к их полной деградации. Изменения дисперсности при повышении влажности, по книге [2], являются следствием распада микроагрегатов.

По выборке большего объема (1976–2006 гг.) был выполнен прогноз значений относительной просадочности при давлении 0,05 МПа. Его срочность была определена длительностью ряда наблюдений. Прогноз был выполнен на 2016 г. Были заданы значения влажности, ограничивающие области измененного и нарушенного состояний. Полагали, что приращение влажности на 30 и 60% (от разности между влажностью

полного водонасыщения и природной влажностью) способствует переходу из одной области состояний к другой. Значения факторных переменных рассчитывали, используя заданные значения природной влажности, по моделям парной регрессии. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Модель связи относительной просадочности $S_{SL,0,05}$ и значений факторных переменных описывается следующей формулой:

$$S_{SL,0,05} = 0,03\omega_P - 0,011\omega_P \cdot \rho - 0,001z \cdot \rho + 0,021z \cdot \omega_P - 0,007z \cdot \omega_P \cdot \rho - 0,001t \cdot \rho + 0,028t \cdot \omega_P - 0,01t \cdot \omega_P \cdot \rho - 0,002t \cdot z \cdot \omega_P. \quad (2)$$

Анализ коэффициентов при линейных членах полинома показал, что наибольшее влияние на относительную просадочность $S_{SL,0,05}$ оказывает нижний предел пластичности. Глубина отбора является более важным фактором, чем год. Выбор переменной «год» в качестве фактора, знак и величина коэффициента при этой переменной указывают на развитие деградации просадочности. Перебор различных вариантов задания факторных переменных позволил получить множество моделей, указывающих на слабую зависимость просадочности от координат и ее более тесную зависимость от плотности и гидрофильности, чем от влажности и содержания пылеватых частиц.

Величина относительной просадочности $S_{SL,0,05}$ на ступенях давления, соответствующих дополнительным нагрузкам (0,3 МПа), определяется изменениями содержания иных фракций и более полным набором показателей физических свойств (табл. 3). По описанному выше алгоритму был выполнен прогноз значений $S_{SL,0,3}$ на 2016 г. для глубины 2,0 м.

Анализ результатов индуктивного прогноза величин относительной просадочности, $S_{SL,0,05}$ и $S_{SL,0,3}$ (см. табл. 3), показывает, что приращение природной влажности на 60% приведет к неравномерным деформациям. Расчет деформаций слоя мощностью 1 м производился по известной методике [5].

Произведение перемещения на заданную величину силы (0,05 и 0,3 МН) определит величину механической работы — показатель интенсивности техногенных воздействий механического подкласса [9]. Расчеты показали, что повышение влажности будет приводить к более интенсивным деформациям в объеме активной зоны. Величины деформаций в областях природных и дополнительных нагрузок будут существенно различаться. Повышение влажности на 60% приведет к полной деградации просадочности. В работе А.К. Ларионова [8] подчеркивалось, что существующие методики расчета деформаций просадки, не учитывающие сопряженность изменений дисперсности среды и развития просадочных деформаций в зоне неполного водонасыщения, дают заниженные оценки интенсивности процесса.

Для иллюстрации возможностей применения метода МГУА был выполнен прогноз максимальных деформаций просадки на конкретном примере с привлечением материалов изысканий, выполненных для проектирования комплекса жилых зданий в северо-восточной части г. Никополя в 1989 г. В основаниях этих сооружений присутствуют *причерноморско-дофиновские, бугские и прилукско-кайдакские* лессовидные от-

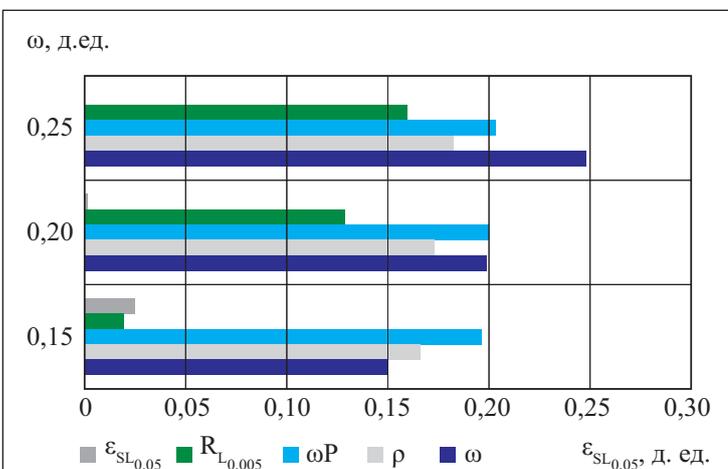


Рис. 2. Прогнозные значения функции $S_{SL,0,05}$ (ось абсцисс) и факторных переменных (ось абсцисс) при различных значениях природной влажности ω (ось ординат). Значения показателей приведены к одному масштабу. Поправочные коэффициенты составили: 10 для $S_{SL,0,05}$; 0,01 для $R_{L,0,005}$; 0,1 для ρ



ложения, уровень грунтовых вод на момент изысканий находился на отметках 16-20 м, мощность зоны уплотнения, по результатам расчетов, не превышала 10 м, зоны просадки — 5 м.

Прогноз максимальных деформаций причерноморско-дофиновского горизонта мощностью 5 м был выполнен для двух обычно рассматриваемых ситуаций — для «мгновенного» обводнения или для длительного изменения влажности просадочных грунтов при одновременном действии давления. Изменения свойств грунта в процессе деградации не учитывались. Использование индуктивного моделирования позволяет рассмотреть эти и другие варианты развития событий, учитывая сопряженность изменения свойств. Так, в первом варианте расчета предполагалось, что изменение влажности сопровождается изменением плотности грунта. Второй сценарий учитывает связь приращений влажности и изменений физико-химических свойств. Были рассчитаны значения относительной просадочности на стадиях малых (30% от возможных приращений) и средних (60%) приращений влажности в областях напряжений, близких к природным (0,05 МПа) и дополнительным (0,3 МПа) с использованием созданной индуктивной модели (рис. 3).

Прогнозные значения факторных переменных модели были получены по значимым уравнениям парной регрессии (плотность присутствовала во всех вариантах, остальные переменные — во втором варианте) или приняты равными выборочным средним. Величина максимальной деформации просадки, реализованная за счет повышения влажности при определенной величине давления и необходимая для расчета механической работы, была найдена как разность максимальных суммарных просадок для слоя мощностью 5 м:

$$\Delta S_{SL} = S_{SL_0} - S_{SL_1}, \quad (3)$$

где ΔS_{SL} — реализованная деформация горизонта, м; S_{SL_0} — суммарная просадка в состоянии начальной влажности, м; S_{SL_1} — суммарная просадка расчетного слоя в прогнозном состоянии.

Суммарная просадка рассчитывалась по методике [5] (с. 38), связывающей мощность горизонта, величину относительной просадочности (в данном случае при давлении 0,3 МПа) и значение деформации просадки:

$$S_{SL} = \sum_{i=1}^k [(\epsilon_{SL_{0,3}})_i \cdot m_i], \quad (4)$$

где S_{SL} — суммарная максимальная просадка, м; $(\epsilon_{SL_{0,3}})_i$ — относительная просадочность i -го расчетного слоя при давлении 0,3 МПа; k — количество слоев; m_i — мощность расчетного слоя.



Таблица 2

Выборочные параметры моделей зависимости относительной просадочности от физического состояния, координат, гранулометрического состава*								
Тип модели	n	Коэффициенты при факторных переменных (членах полинома)*						
$\epsilon_{SL_{0,05}} = f(t, z, \omega_L, \omega_P, \omega, \rho_S, \rho)$	132	t	z	ω_L	ω_P	ω	ρ_S	ρ
		+	-	0,076	-	-	-0,01	0,064
$\epsilon_{SL_{0,05}} = f(t, z, R_{0,1}, R_{0,05}, R_{0,01}, R_{0,005},)$	33	t	z	$R_{0,1}$	$R_{0,05}$	$R_{0,01}$	$R_{0,005}$	$R_{L_{0,005}}$
		-	0,003	-	0,003	-	0,002	-
$\epsilon_{SL_{0,05}} = f(t, z, R_{0,1}, R_{0,05}, R_{0,01}, R_{0,005}, R_{L_{0,005}})$	31	t	z	ω_L	ω	ρ_S	ρ	$R_{0,05}$
		0,001		0,019	-0,068	-	0,007	0,003

* Расшифровку обозначений и пояснения по структуре таблицы см. в примечаниях к табл. 1.

Таблица 3

Прогноз деформаций при деградации просадочности (при периоде наблюдений 60 лет)					
Давление, МПа	Приращение влажности, %	Начальное среднее значение ϵ_{SL} , д.ед.	Прогнозное значение ϵ_{SL} , д.ед.	Деформация просадки, м	Механическая работа, кДж
0,05	30	$\epsilon_{SL_{0,05}} = 0,007$	0,0020	0,0050	0,25
	60		0,0000	0,0070	0,35
0,30	30	$\epsilon_{SL_{0,3}} = 0,062$	0,0596	0,0024	0,72
	60		0,0000	0,0620	18,60

Таблица 4

Результаты прогноза относительной просадочности причерноморско-дофиновского горизонта при повышении его влажности*					
P , МПа	Сценарий**	$\varepsilon_{SL0,3}$, д.ед.	S_{SL} , м	ΔS_{SL} , м	A , кДж
0,05	0	0,012	0,060	0,000	0,0
	1	0,012	0,060	0,000	0,0
0,3	0	0,093	0,465	0,000	0,0
	1	0,036	0,180	0,285	85,5
	2	0,000	0,000	0,465	139,5

* P — давление; $\varepsilon_{SL0,3}$ — относительная просадочность причерноморско-дофиновских отложений при давлении 0,3 МПа; ΔS_{SL} — изменение суммарной максимальной просадки горизонта в результате повышения влажности при заданном давлении; A — механическая работа в объеме активной зоны.
 ** 0 — начальное состояние, деградации нет; 1 — «мгновенное» изменение плотности с «мгновенным» изменением влажности, 2 — изменения физического состояния, физико-химических свойств и дисперсности в зависимости от приращений влажности.

В интервале природных напряжений увеличение влажности на 30% не приведет к изменению состояния — прогнозные значения относительной просадочности оставались близкими к выборочным средним (табл. 4). В границах активной зоны при давлении 0,3 МПа произойдет частичная или полная деградация просадочности в зависимости от интенсивности процесса. При аварийном обводнении относительная просадочность уменьшается меньше, чем при медленном увеличении влажности, сопровождаемом сопряженными изменениями свойств.

Заключение

Величина просадки в основании сооружения при действующих дополнительных и бытовых напряжениях, рассчитанная по стандартной методике [3], составит 5,1 см.

По результатам индуктивного моделирования в случае аварийного «мгновенного» повышения влажности при величине давления 0,3 МПа в объеме расчетного слоя мощностью 5 м в 2016 году «мгновенная» суммарная просадка составит не менее 28,5 см.

Максимальная суммарная просадка, рассчитываемая при условии полной деградации просадочности, определяется начальными условиями. Ее величина одинакова при разных методах прогноза.

Полная деградация просадочности в условиях медленного повышения влажности, сопровождаемого изменениями физико-химических свойств и дисперсности, приведет к наибольшей механической работе в объеме активной зоны.

Преимуществом использования индуктивного моделирования является возможность прогнозирования различных сценариев развития неблагоприятных ситуаций на основе более реалистичных оценок. Нормативная же методика оценки просадочности, по мнению

некоторых исследователей [5, 8, 10], дает искаженные результаты.

Использование метода группового учета аргументов позволяет создать модель поведения системы с плохо выраженным детерминизмом на основании привлечения данных о деградации просадочных свойств массива лессовых грунтов в однородных по инженерно-геологическим признакам условиях.

Несоответствие интенсивности процессов деградации лессовой формации на территории г. Николая и в зонах влияния других городских природно-технических систем региона было установлено в процессе стохастического анализа и подтверждено при индуктивном моделировании.

Метод группового учета аргументов позволяет получить статические и динамические модели изменчивости состояния среды в зоне техногенеза на разных уровнях выделения объектов. Область применения статической модели — решение задач классификации и прогноза по предельным состояниям. Варьируя значения факторных переменных, можно определить область допустимых величин просадочности. Динамические модели необходимы для решения задач о деградации свойств просадочных грунтов во времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов В.Е. Закономерности формирования режима грунтовых вод в районах горнорудных предприятий Никопольского марганцеворудного бассейна // Инженерная геология. 1990. № 4. С. 35–41.
2. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. М: Изд-во МГУ, 1997. 635 с.
3. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність / Від 2008-07-01. Міністерство будівництва України, 2008. 74 с.
4. Инженерная геология СССР. Платформенные регионы Европейской части СССР. Т. 1 / под ред. И.С. Комарова, Д.Г. Зилунка, В.Т. Трофимова. М: Недра, 1992. 357 с.
5. Крутов В.И. Основания и фундаменты на просадочных грунтах. К.: Будівельник, 1982. 224 с.
6. Мокрицкая Т.П. Изменчивость свойств перигляциальной формации в районах горной промышленности на примере Криворожского железорудного бассейна (Украина) // Вестник ИГТУ. 2013. № 5. С. 65-72.
7. Мокрицкая Т.П., Корякина Л.С. Факторы и модели деградации просадочности // Науковий вісник НГУ. 2013. № 4 (136). С. 5-10.
8. Ларионов А.К., Приклонский В.А., Ананьев В.П. Лесовые породы СССР и их строительные свойства. М: Госгеолтехиздат, 1959. 367 с.
9. Трофимов В.Т. Теория и методология экологической геологии. М.: Изд-во МГУ, 1997. 368 с.
10. Юрченко С.Г., Будикова А.М. Методика расчета ожидаемой совместной просадочной деформации гидротехнических сооружений и их лессовых оснований с учетом области замачивания // Вестник ТГАСУ. 2008. № 2. С. 170–180.



ЗАЩИТА ФЕДЕРАЛЬНОЙ ДОРОГИ «АМУР» (ЧИТА — ХАБАРОВСК) ОТ ОПАСНЫХ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ

HOW TO PROTECT THE «AMUR» FEDERAL HIGHWAY (CHITA — KHABAROVSK) FROM DANGEROUS ENGINEERING- GEOCRYOLOGICAL PROCESSES AND PHENOMENA

КОНДРАТЬЕВ В.Г.

Научный руководитель НПП «ТрансИГЭМ», профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии горного факультета Забайкальского государственного университета, д.г.-м.н., г. Чита, v_kondratiev@mail.ru

КОНДРАТЬЕВ С.В.

Аспирант кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Забайкальского государственного университета, г. Чита, skondratev@gmail.com

KONDRATIEV V.G.

Research manager of the «TransEGEM» RPE, professor of the Hydrogeology and Engineering Geology Department of the Mining Faculty of Trans-Baikal State University, Chita, ScD (doctor of science in Geology and Mineralogy), v_kondratiev@mail.ru

KONDRATIEV S.V.

Post-graduate student of the Hydrogeology and Engineering Geology Department of the Mining Faculty of Trans-Baikal State University, Chita, skondratev@gmail.com

Ключевые слова:

автодорога «Амур» (Чита – Хабаровск); вечная мерзлота; деформации земляного полотна; стабилизационные мероприятия; инженерно-геокриологический мониторинг.

Key words:

«Amur» highway (Chita – Khabarovsk); permafrost; embankment deformations; stabilization measures; engineering-geocryological monitoring.

Аннотация

В статье рассматривается современное состояние автодороги «Амур» (Чита – Хабаровск). Описываются причины многочисленных деформаций ее земляного полотна. Приводится критический анализ предлагаемых проектными организациями технических решений по его стабилизации. Предлагаются пути решения проблемы. Обосновываются необходимость создания, структура и схема функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга дороги.

Abstract

The article considers the current state of the Transbaikalian section of the «Amur» highway (Chita – Khabarovsk), describes the causes of numerous deformations of its embankment, critically analyzes some technical decisions proposed by design organizations to stabilize the embankment, proposes some ways to solve the problem, justifies the structure, functioning scheme and necessity of creation of the engineering-geocryological monitoring system of the highway.

Имеющая для России важнейшее стратегическое значение федеральная автомобильная дорога «Амур» (Чита — Хабаровск) [1], строительство которой было завершено в сентябре 2010 года, испытывает все возрастающее негативное воздействие инженерно-геокриологических процессов (рис. 1, 2). Об их опасности и необходимости своевременной защиты автодороги в период ее проектирования и сооружения говорилось и писалось неоднократно [2–5], в том числе и на общероссийских конференциях изыскательских организаций [2, 3]. К сожалению, наши предложения [4, 5, 8, 9] дирекцией строительства дороги и Федеральным дорожным агентством (Росавтодором) в основном игнорировались под предлогом дефицита времени и денег. Теперь деньги у агентства появились, много денег¹, а дорога становится все хуже и хуже². При этом руководители Росавтодора весьма поверхностно воспринимают проблему разрушительного воздействия мерзлотных процессов на дорогу и наивно полагают, что американцы нам помогут³.

¹ 288,95 млрд руб. в 2011 г., 335 млрд руб. в 2012 г. и 408 млрд руб. в 2013 г. При этом затраты на содержание и ремонт дорог растут быстрее, чем в целом бюджет Росавтодора. Например, по плану 2013 г. они в 1,48 раза больше, чем в 2012 г.

² Вот один из отзывов о дороге на сайте г. Читы за 14.11.2012 г.: «Если в позапрошлом году можно было ездить спокойно, в прошлом уже с опаской, то в этом знаков «тетьки» на каждом километре и «Амурских волн» становится все больше... Года через два там можно будет ездить только на внедорожниках».

³ См. отчет о пресс-конференции руководителя Федерального дорожного агентства Романа Старовойта (23.07.2013 г.) в пресс-центре РБК на сайте Росавтодора.



Как известно, решение о строительстве автодороги Чита — Хабаровск было принято Советом Министров СССР в 1966 году. Затем более 10 лет Союздорпроект, Иркутскгипродорнии и Дальгипродорнии проводили изыскания и проектирование дороги. Строительство началось в 1978 г., завершилось в сентябре 2010 г. и обошлось в 200 млрд рублей.

Дорога имеет протяженность 2165⁴ км и пересекает с запада на восток Забайкалье и Приамурье — территории с весьма неоднородными геоморфологическими, геолого-тектоническими и ландшафтно-климатическими условиями, что, в свою очередь, предопределяет значительную неоднородность инженерно-геокриологических условий вдоль ее трассы. Она проходит через районы с очень сложными, сложными, относительно сложными и относительно простыми инженерно-геокриологическими условиями. Причем сложность условий в основном определяется наличием и льдистостью многолетнемерзлых пород, их просадочностью при оттаивании, а также пучинистостью при промерзании сезонноталых и сезонномерзлых грунтов.

При строительстве и в первые годы эксплуатации дороги произошли существенные изменения мерзлотной обстановки и активизировались неблагоприятные инженерно-геокриологические процессы, в частности термокарст, пучение, солифлюкция, термоэрозия, наледообразование и др., разрушающие ее и создающие предпосылки к снижению скорости и безопасности движения по ней автомобилей. Уже в год завершения строительства магистрали 263 км (12,1%) нуждались в капитальном ремонте, а около 400 км (18,5%) — в реконструкции⁵. Иными словами, проектная скорость движения автомобилей 100 км/ч почти на трети протяженности только что построенной дороги «Амур» не обеспечена. Не зря В.В. Путин назвал ее «хорошей проселочной дорогой», проехав в августе 2010 г. от Хабаровска до Читы.

Прошло три года, и дорога стала еще хуже⁶. Стремительно растет количество мест с просадками земляного полотна, обусловленными оттаиванием (деградацией) многолетнемерзлых грунтов в ее основании.

По данным ФКУ «Упрдор "Забайкалье"» (табл. 1), на забайкальской части автодороги «Амур» в 2011 г. отмечалось 68 мест с просадками земляного полотна (их пытались устранить силами подрядных организаций в рамках гарантийных обязательств). В 2012 г. таких мест стало почти в пять раз больше (327) и на их устранение дополнительно было потрачено 34265 тыс. руб. На июнь 2013 г. насчитывалось 330 мест с просадками и затраты составили уже 11738,8 тыс. руб. При

⁴ По уточненным данным, 2112,588 км.

⁵ Из интервью директора ФГУ ДСД «Дальний Восток» Швецова В.А., опубликованного 10.02.2010 г. на сайте Росавтодора.

⁶ Отзыв руководителя Новосибирского отделения Федерации авто владельцев России Владимира Кириллова после пробега Новосибирск — Магадан за 18.06.2013 г.: «Трасса, по которой ехал Владимир Путин на своей желтой "Ладе-Калине", разваливается, ее нет практически. За Читой — провалы в дороге, и практически на каждом километре стоят по одному-два знака ограничения скорости до 50 км в час. Видно, что машины просто ударяются днищем и вываливаются с трассы. Ехать там на большей скорости невозможно» (ИА «Сибград», 18.06.2013 г.).



Рис. 1. Состояние автодороги «Амур» на участке «км 531» (21 мая 2013 г.)



Рис. 2. Деформированная водопропускная труба на участке «км 526» автодороги «Амур» (25 декабря 2012 г.)

этом отмечается рост затрат на устранение просадок с 838 руб. в 2012 г. до 950 руб. в 2013 г. на 1 м². К концу года затраты будут значительно больше, поскольку основной объем дорожных работ обычно выполняется во второй половине года.

Аналогична ситуация и на амурской части дороги. По данным ФКУ ДСД «Дальний Восток» (табл. 2), с 2010 г. по июнь 2013 г. пришлось ремонтировать 178,025 км, а затраты составили около 4302937 тыс. руб.

Надежды Росавтодора на гарантийные обязательства строителей, выданные на три года, рухнули. Стало очевидно, что просадки земляного полотна — это не мел-

Таблица 1

Характеристики просадок и затраты на их устранение	Год		
	2011	2012	2013 (на июль)
Количество просадок, шт.	68	327	330
Общая площадь просадок, м ²	-	103159	103960
Площадь устраненных просадок, м ²	Просадки устранялись по гарантиям строителей	40874	12357
Затраты на устранение просадок, тыс. руб.		34265	11739
Затраты на устранение 1 м ² просадок, руб.	-	838	950

* Кроме того, систематически выполняются работы по восстановлению ровности покрытия в рамках текущего содержания дороги. По состоянию на июль 2013 г. было выявлено 330 просадок, устранено 111, осталось 119. На устранение просадок дополнительно на 2013 г. затребовано 51610,6 тыс. руб.

Таблица 2

Ремонт автодороги «Амур» на амурском участке («км 794 (741+588) – км 1811 (1752+205)» в 2010–2013 гг. (по данным ФКУ ДСД «Дальний Восток»))						
Год	Отремонтировано, км		Стоимость ремонта, тыс. руб.			
	капремонт	ремонт	капремонт		ремонт	
			всего	на 1 км	всего	на 1 км
2010	12,406*		131643,433**			
	7,806	4,600	113811,430	14579,993	17831,003	3876,6522
2011	27,715		694023,990			
	23,015	4,700	645194,780	28033,664	48829,210	10389,194
2012	51,301		952416,790			
	10,301	41,000	330933,640	32126,845	621478,150	15158,004
2013	86,603		2524852,847			
	75,823	10,780	2388805,987	31505,031	136046,680	12620,302
Всего	178,025		4302937,060			
	116,945	61,080	3478750,837	297466,891	824186,223	13493,553

* В верхней строке за каждый год указана суммарная протяженность участков, на которых были произведены ремонт и капремонт.
 ** В верхней строке за каждый год указана общая сумма, потраченная на ремонт и капремонт.

кие недоделки строителей, а системные просчеты Росавтодора и проектировщиков дороги. Ее трасса проходит по территории с вечной мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием грунтов, а необходимого геокриологического обоснования изысканий, проектирования и строительства автодороги не было. Отсутствие надлежащей геокриологической информации часто

приводило либо к недооценке опасности возможных инженерно-геокриологических процессов и явлений и применению ненадежных технических решений и конструкций элементов дороги, либо, наоборот, к переоценке такой опасности и применению излишне дорогостоящих и длительных по исполнению технических решений и конструкций [4, 5].

Таблица 3

Мероприятия по предотвращению деформаций земляного полотна автодороги «Амур», предложенные ОАО «Иркутскгипродорнии»					
Тип	Мероприятие	Дефекты земляного полотна и покрытия	Условия применения	Примечания В.Г. Кондратьева	
1	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем	Просадки обочин и откосов, продольные трещины на покрытии и обочине	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. Верхний горизонт многолетней мерзлоты (ВГММ) вошел в насыпь. Поверхностный водоотвод обеспечен	Зачем бермы из суглинка при обеспеченном водоотводе?	
2	Приоткосные бермы из суглинистого грунта с каменным заполнителем, водоотводный лоток из геомембраны	Просадки, продольные и поперечные трещины, сетка трещин	Льдонасыщенные грунты в основании насыпи. ВГММ понизился под насыпью. Замена и осадка грунтов при строительстве	Зачем бермы из суглинка при водоотводном лотке?	
3	Приоткосные бермы и водоотводные валики из суглинистого грунта с каменным заполнителем		Насыпи на косогоре, фильтрация воды в откос насыпи	Зачем бермы из суглинка при водоотводном валике?	
4	Укрепление грунтов основания криогелем	Просадки, волны, продольные и поперечные трещины на покрытии	Переувлажненные, сильнольдистые, недреннирующие грунты. Наличие водотока	Как закачать криогель в недреннирующие грунты? Это не остановит деградацию многолетней мерзлоты.	
5	Укрепление грунтов основания сухобетонной смесью		Лед или сильнольдистые грунты в основании насыпи	–	Это не остановит деградацию многолетней мерзлоты.
6	Сезонно-охлаждающие устройства (СОУ)				Это лишь локальное воздействие в радиусе 3–4 м
7	Солнцеосадкозащитные навесы				Переувлажненные и сильнольдистые просадочные грунты



Сейчас Росавтодор судорожно пытается остановить разрушение автодороги «Амур»: в спешном порядке проводятся изыскания и разработка стабилизационных мероприятий, ведутся разговоры об организации опытных стационаров и привлечении американцев, проводятся заседания техсоветов и отдельных секций... Так, в июле 2013 г. в Росавтодоре состоялось заседание научно-технического совета, где представители ФКУ «Упрдор "Забайкалье"», ФКУ ДСД «Дальний Восток», ОАО «Иркутскгипродорнии», ООО «СметаПлюс» сделали доклады по проблеме стабилизации деформирующихся участков дороги. На него также были приглашены два американца. Заседание готовилось пять месяцев, на него возлагались большие надежды.

Арсенал технических решений, предложенных ОАО «Иркутскгипродорнии» по рекомендациям ООО «Сибиндор» и Института мерзлотоведения СО РАН, невелик (табл. 3). При этом мероприятия типов 1–6 бесполезны, а первые три даже вредны. Примечания автора по этому поводу приведены в последнем столбце таблицы 3 и более подробно рассмотрены ниже.

Приоткосные бермы (типы 1–3) окажут противоположное ожидаемому действие — увеличат чашу оттаивания многолетнемерзлых грунтов и вызовут дополнительные длительные просадки дороги. Это подтверждено 40-летним опытом Байкало-Амурской магистрали (БАМ), где также пытались бороться с просадками земляного полотна с помощью берм. Дополнение берм водоотводными лотками или валиками не спасет ситуацию.

Применение криогеля (тип 4) или сухобетонной смеси (тип 5) не может остановить деградацию многолетней мерзлоты в основании дороги, поскольку ее асфальтовое покрытие будет по-прежнему прогреваться солнечной радиацией и летними дождями, а снежный покров на обочинах и откосах насыпи, а также в канавах будет препятствовать охлаждению их зимой — и деформации будут продолжаться.

Применение одиночных сезонно-охлаждающих устройств (СОУ) (тип 6), устанавливаемых через каждые 3 м вдоль дороги, не может прекратить деградацию многолетней мерзлоты в ее основании вследствие их локального влияния, поэтому деформации в этом случае тоже будут продолжаться. Об этом свидетельствует 10-летний опыт их применения на Тибете и 25-летний — на БАМ.

Тем не менее предлагается применить эти мероприятия для стабилизации 72,66 км земляного полотна. Стоимость этих мероприятий составляет 2 943 836 490 руб., средняя цена ремонта 1 м дороги — 40515 руб. Стабилизации же земляного полотна при этом не произойдет по изложенным выше причинам.

Только солнцезащитные навесы (тип 7) могут быть полезны, поскольку доказали свою эффективность на Аляске [11], Тибете (рис. 3) [10] и на БАМ [7]. Их эффективность обусловлена предотвращением поступления прямой солнечной радиации и теплых летних осадков на поверхность защищаемого массива грунта и усилением теплоотдачи из него зимой, поскольку под навесом не формируется снежный покров [6]. Стоимость же навеса, как показал опыт работ на БАМ [7], в 20–25 раз меньше стоимости берм из скального грунта.

В арсенале специалистов имеются и другие эффективные решения по стабилизации земляного полотна на льдистых многолетнемерзлых грунтах [6].



Рис. 3. Сооружение солнцезащитного навеса на Цинхай – Тибетском шоссе, сентябрь 2003 г.



Рис. 4. Состояние автодороги «Амур» на переходе через ручей Чичон (на участке «км 247», 16 августа 2012 г.)



Рис. 5. Состояние автодороги «Амур» на переходе через ручей Чичон (на участке «км 247», 21 мая 2013 г.)

ООО «СметаПлюс» на научно-техническом совете Росавтодора докладывало о проекте капитального ремонта участка автодороги «Амур» на переходе через ручей Чичон («км 247»), постоянно деформирующегося с 2001 г. (рис. 4, 5) (о причинах деформаций в этом месте и путях их прекращения писалось много раз раньше [2–5, 9]). Правильно понимая причину многолетних деформаций автодороги «Амур» на этом участке и направление возможных стабилизационных мероприятий на нем, ООО «СметаПлюс» предложило громоздкий, дорогостоящий и неэффективный набор мероприятий (эти мероприятия и комментарии автора по ним рассмотрены в таблице 4). Они во многом умозрительны и не обоснованы теплотехническими расчетами. Их реализация не приведет к длительной стабилизации участка — будут напрасно потрачены средства и потеряно время, как и при предыдущих ремонтных работах в этом месте в 2006, 2008 и 2010 гг. Поражает размах проектировщиков: почти полмиллиарда рублей на 200 м дороги (в 2006 г. ремонт участка обошелся в 10 млн руб.). Предложенный проект нуждается в коренной переработке, поскольку не решает главной за-



Рис. 6. Основной способ устранения просадок на федеральной трассе «Амур» (16 августа 2012 г.)

дачи — стабилизации участка, а стоимость его реализации чрезмерна. Необходимо разработать другие технические решения, которые позволят не только стабилизировать участок и предотвратить дальнейшее опасное развитие деформаций автодороги «Амур» на переходе через долину ручья Чичон, но и кардинально уменьшить стоимость и продолжительность ремонта. При этом следует иметь в виду, что отработанные на этом участке эффективные в техническом и экономическом отношении стабилизационные мероприятия могут стать полезными и на других участках дороги, где имеются льдистые грунты и где также развиваются деформации земляного полотна вследствие деградации многолетней мерзлоты.

ООО «Сибиндор» на научно-техническом совете Росавтодора докладывало о «Методических рекоменда-

циях по геокриологическому прогнозированию устойчивости дорожных сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог» — сочинении сумбурном и мало относящемся к теме. Докладчик даже не смог ответить на вопрос о том, что он понимает под «геокриологическим прогнозированием».

Присутствовавшие на научно-техническом совете Росавтодора американцы не выступали, а общение с ними после заседания на тему дорог в криолитозоне показало, что они не в теме: на Аляске не бывают, американских и тем более российских или китайских специалистов, занимающихся дорогами в криолитозоне, не знают, их интересуют только вопросы продвижения на российский рынок американских продуктов, в частности асфальтовых заводов. Едва ли такие специалисты будут полезны в вопросах дорожного дела в криолитозоне. Видимо, Росавтодор собирается лишь постоянно «закатывать в асфальт» (рис. 6) проседающую автодорогу «Амур»⁷, благо денег на это выделяется все больше и больше.

⁷ Информационное агентство «Чита.Ру» 25.08.2012 г. сообщило: «Американский асфальтобетонный завод запустили в Могочинском филиале ЗАО «Труд». Чтобы обеспечить дорожникам намеченный объем работ по устранению просадок на федеральной трассе «Амур», на завод поставят 76 вагонов песка, 120 тонн битума, 120 тонн минерального порошка и разные присадки, необходимые для производства асфальта».

Таблица 4

Мероприятия по предотвращению деформаций земляного полотна автодороги «Амур» на переходе через ручей Чичон (на участке «км 247»), предложенные ООО «СметаПлюс»		
№	Мероприятие	Примечания В.Г. Кондратьева
1	Разборка насыпи, вырезка талых грунтов из основания насыпи, заполнение котлована послойно промораживаемым грунтом и сооружение новой насыпи из послойно промораживаемого грунта – создание «холодного ядра»	Это мероприятие технически осуществимо, но предложенная технология нецелесообразна. Надмерзлотный талик под насыпью можно проморозить и без разборки насыпи высотой до 20 м и разработки котлована глубиной до 7–8 м. Главное — прекратить дальнейшую деградацию многолетней мерзлоты под насыпью
2	Консервация «холодного ядра» в насыпи с помощью теплоизоляции	Это утопия. Без ежегодной «подпитки» холодом «холодное ядро» исчезнет под отепляющим воздействием солнечной радиации через откосы насыпи и черное асфальтобетонное покрытие. Устройство вентилируемых труб диаметром 1 м в основании насыпи – полезное мероприятие для охлаждения нижележащих грунтов основания насыпи, в особенности в сочетании с теплоизоляцией над трубами, однако диаметр их должен быть в 2–3 раза меньше и укладывать их следует не выше 0,5 м от подошвы насыпи. «Холодное» же ядро вентилируемыми трубами охлаждаться не будет из-за расположения над ними теплоизоляции
3	Размещение гидроизоляционной пленки над «холодным ядром» для предотвращения попадания грунтовых вод в тело насыпи, а также устройство в земляном полотне каптажного дренажа из полиэтиленовых труб с полиэтиленовыми смотровыми колодцами	На рассматриваемом участке нет потока таких вод в земляном полотне – соответственно, и защита от них не нужна. Необходима защита поверхности и откосов насыпи от теплых дождевых вод, выпадающих здесь в основном в июле — августе и составляющих около 70% годовой суммы осадков
4	Устройство банкета в нагорной стороне земляного полотна для обеспечения поверхностного водоотвода	В этом нет необходимости, т.к. дождевые воды свободно стекают по существующей задернованной поверхности
5	Размещение в теле насыпи естественно вентилируемых прослоек из бутового камня	Это малоэффективное мероприятие в условиях преобладания безветренной погоды в зимний период, а размещение каменных прослоек над теплоизоляцией практически полностью исключит их охлаждающее воздействие на «холодное ядро»
6	Укрепление откосов насыпи засевом многолетних трав с целью уменьшения воздействия солнечной радиации на поверхность земляного полотна	Это малоэффективное мероприятие с точки зрения уменьшения воздействия солнечной радиации на земляное полотно. Незначительный эффект затенения поверхности откосов травой будет снижен отепляющим влиянием более рыхлого и мощного снежного покрова на техногенном травяном покрове по сравнению с естественным

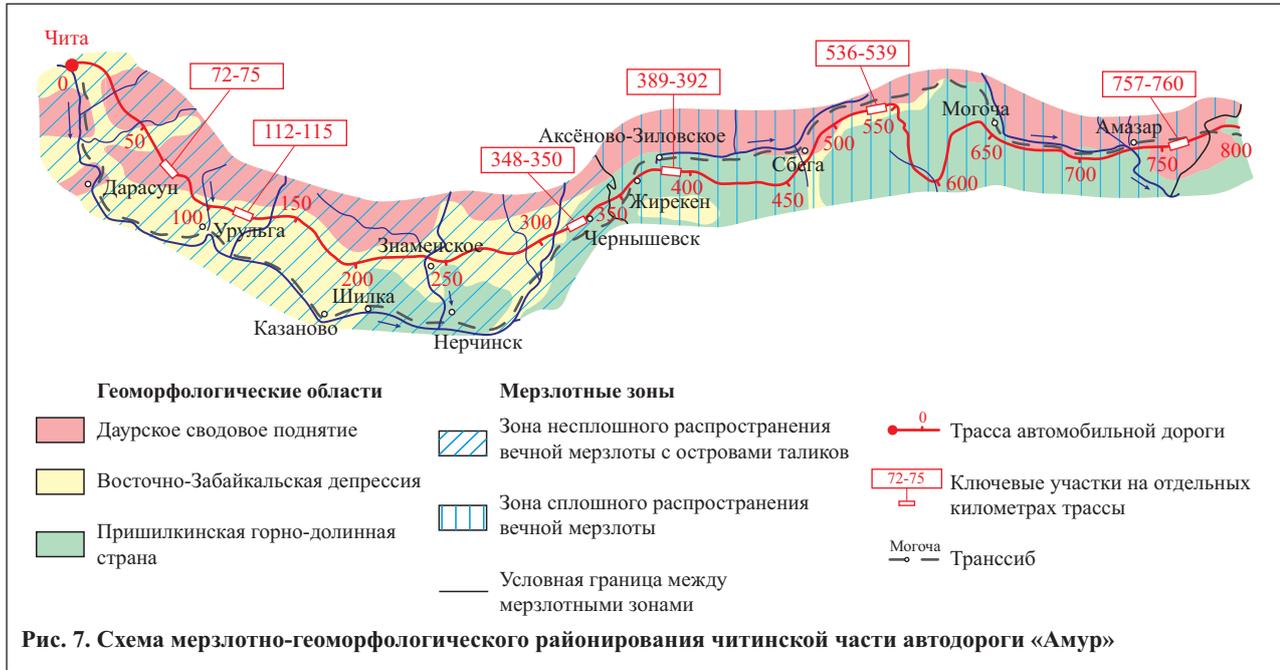


Рис. 7. Схема мерзотно-геоморфологического районирования читинской части автодороги «Амур»

Для обеспечения устойчивости и надежности автодороги «Амур» в период ее эксплуатации необходимы: своевременное выявление закономерностей развития мерзлотных условий на трассе; систематический контроль их динамики и криогенного воздействия на элементы дороги; осуществление защитных мероприятий. Наиболее эффективно это возможно в рамках системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги, осуществляемой на единой научно-методической основе. Такая основа была разработана НПП «ТрансИГЭМ» в 2004–2006 гг., передана в Росавтодор в 2006 г. в виде проекта ОДМ «Рекомендации по инженерно-геокриологическому обоснованию эксплуатации федеральной автомобильной дороги "Амур" Чита — Хабаровск», опубликована в 2010 г. в виде монографии [9] и передана в ОАО «Иркутсгипродор» в 2012 г. в виде программы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги.

Пространственное представление об инженерно-геокриологических условиях дороги дают: обзорная схема мерзотно-геоморфологического районирования ее трассы в масштабе 1:1 000 000–1:2 000 000 (рис. 7), крупномасштабные врезки по ее наиболее характерным (ключевым) участкам в виде инженерно-геокриологических схем микрорайонирования в масштабе 1:8 300–1:20 000 (рис. 8), продольные профили по ее оси (рис. 9) и таблицы (табл. 5).

В соответствии с административным делением территории прохождения автодороги «Амур» схема мерзотно-геоморфологического районирования ее трассы состоит из трех⁸ частей — читинской («км 0 — км 794»), амурской («км 794 — км 1811») и еврейской («км 1811 — км 2165»).

⁸ В данной статье приведена только первая часть схемы для читинской части трассы автодороги (см. рис. 7).

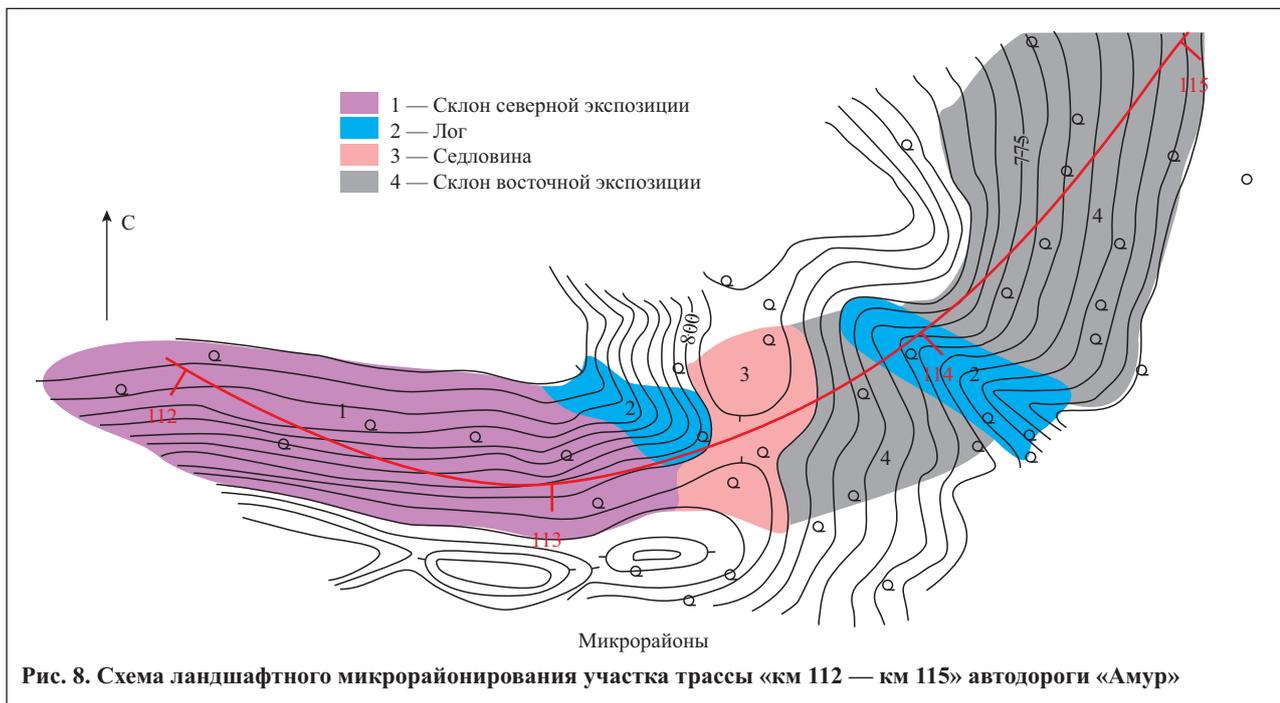


Рис. 8. Схема ландшафтного микрорайонирования участка трассы «км 112 — км 115» автодороги «Амур»



На вышеуказанной схеме выделены шесть геоморфологических областей (Даурское сводовое поднятие, Восточно-Забайкальская депрессия, Пришилкинская горно-долинная страна, Амурская депрессия, Буринско-Амурская складчато-глыбовая горная область, Сунгари-Амурская депрессия) и 5 мерзлотных зон (сплошного, несплошного с островами таликов, островного, редкоостровного распространения вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов). Шестнадцать крупномасштабных врезок распределены следующим образом: семь относятся к читинской части (как наиболее сложной в мерзлотно-геологическом отношении), семь — к амурской (наиболее протяженной), две — к еврейской (наименее протяженной и простой в мерзлотно-геологическом отношении).

Предложенная в вышеупомянутых рекомендациях концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга автодороги «Амур» (СИГМА «Амур»)

призвана обеспечить систематичность контроля, оценки, прогноза и управления развитием инженерно-геокриологических процессов на трассе автодороги для обеспечения стабильности ее земляного полотна и искусственных сооружений. В концепции СИГМА «Амур» разработаны и подробно описаны:

- структура этой системы, включающая блоки: наблюдений; сбора, обработки, анализа, оценки и хранения информации; прогноза и разработки защитных мероприятий; защиты (реализации защитных мероприятий);
- схема функционирования системы во времени, предусматривающая ряд упорядоченных процедур, организованных в циклы получения данных наблюдений, оценки опасности инженерно-геокриологических процессов, прогноза их дальнейшего развития, управления неблагоприятными процессами;
- функциональная структура системы, состоящая из нескольких подсистем различного назначения и

Таблица 5

Инженерно-геологические условия участка «км 112 — км 115» трассы автодороги «Амур»											
Микро-район	Геоботанические условия	Состав пород		Мерзлотные условия							Пересечение микро-района автодорогой, № ПК
		Коренные породы	Четвертичные отложения	Распространение ММП*	Мощность ММП, м	Криогенная текстура	Льдистость (влажность), %	Среднегодовая температура пород, °С	Глубина сезонного оттаивания (промерзания), м	Криогенные процессы и явления	
1. Склон северной экспозиции		не вскрыты	дресвяный и щебнистый грунт, суглинок песчанистый		>15	массивная в дресвяном и щебнистом грунтах; тонко- и редкослоистая в суглинках	3,9–19,5 в дресвяном и щебнистом грунтах; 35,3 в слаботорфованных суглинках	-1,0÷-1,3	2,2–4,3	термокарстовые просадки и пучение грунтов на ПК50	49–62
2. Лог	Редкий смешанный лес (береза, сосна)	не вскрыты	дресвяный и щебнистый грунт, суглинок песчанистый	несплошное с островами таликов	не вскрыты	-	5,5–16,0	-1,0÷-1,3	2,2–3,3	пучение грунтов	62–63
		граниты непрочные выветрелые	дресвяный грунт, суглинок песчанистый		не вскрыты	-	5,5–13,3	-1,0÷-1,3	2,2–3,3	пучение грунтов	68–71
3. Седловина	не вскрыты	дресвяный грунт, суглинок песчанистый, супесь песчанистая	не вскрыты		-	5,5–16,0	?	2,2–3,3	?	63–67	
4. Склон восточной экспозиции	не вскрыты	дресвяный грунт, суглинок песчанистый	не вскрыты		-	5,5–10,4	?	2,2–3,3	?	67–68	
	граниты непрочные выветрелые	дресвяный грунт, суглинок песчанистый	не вскрыты	-	5,5–23,0	?	2,2–3,3	пучение грунтов	71–80		

* ММП — многолетнемерзлые породы.



функций: иерархической, объектов мониторинга, функциональной, производственных работ, научно-методического обеспечения и технического обеспечения;

- объект инженерно-геокриологических исследований в СИГМА «Амур», состоящий из трех взаимосвязанных частей: геолого-географических условий трассы, мерзлотной обстановки, автодороги;
- комплексная программа организации системы, призванная обоснованно определить оптимальный состав и последовательность практических действий по ее организации и функционированию;
- план реализации комплексной программы организации системы, предусматривающий три этапа: подготовительный, создания информационной базы данных, функционирования системы;
- предложения по организационному обеспечению функционирования системы.

В рекомендациях изложен *технологический регламент инженерно-геокриологического сопровождения эксплуатации автодороги «Амур»*, основными задачами которого являются:

- предупреждение опасных проявлений инженерно-геокриологических процессов на основе наблюдений за состоянием земляного полотна и искусственных сооружений и за возникновением и развитием этих процессов в полосе отвода земель, а также на основе прогноза их динамики;
- разработка рекомендаций по защите автодороги, преимущественно превентивной, от неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов.

На основе рассматриваемых рекомендаций можно было еще на завершающей стадии строительства автодороги разработать проект создания СИГМА «Амур» с детальной проработкой организационных, финансовых, методических и технических аспектов инженерно-геокриологического сопровождения ее эксплуатации, в том числе текущего содержания, ремонта, капитального ремонта и реконструкции. Однако этого сделано не было — пошли традиционным путем: ремонт по мере появления деформаций дороги.

В заключение еще раз подчеркнем: необходимо безотлагательно обеспечить федеральную автодорогу «Амур» (Чита — Хабаровск) защитой от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений — создать систему инженерно-геокриологического мониторинга дороги, сравнимой с Транссибирской и Байкало-Амурской магистралями по значению для развития Забайкалья, Дальнего Востока и страны в целом [1]. Без такой защиты она обречена на перманентный ремонт, постоянные ограничения скорости движения автомобилей и колоссальные в связи с этим финансовые и материальные потери государства и населения.

В России, как известно, на 70% территории распространены вечная мерзлота и глубокое сезонное промерзание грунтов. Именно в таких регионах в ближайшие 15–20 лет будет в основном развиваться инфраструктура страны и будут строиться дороги. И именно там нужна новая идеология дорожного хозяйства: мерзлотная составляющая должна пронизывать весь процесс изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации дорог в криолитозоне. Без

этого невозможно экономически оптимальным способом обеспечить транспортную и экологическую безопасность автодорог Сибири, Забайкалья, Дальнего Востока и Европейского Севера. Автодорога «Амур» это наглядно показала. Сейчас на очереди автодорога «Виллой», где заказчики, изыскатели и проектировщики те же... Говорят, надо создавать опытные полигоны для изучения опыта дорог в криолитозоне. Не надо их создавать — ведь вся автодорога «Амур» является полигоном для опытов. ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Иванов Н.Ф.* «Амур» собирает Россию. М.: Информатодор, 2003. 200 с.
2. *Кондратьев В.Г.* Геокриологические проблемы содержания федеральной автодороги «Амур» Чита — Хабаровск / Материалы 6-й Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М.: ОАО «ПНИИИС», 2011. С. 101–104.
3. *Кондратьев В.Г.* Изыскания и проектирование автодороги «Амур» Чита — Хабаровск как повторение ошибок БАМ / Материалы 8-й Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». М.: ОАО «ПНИИИС», 2012. С. 79–81.
4. *Кондратьев В.Г.* Не повторить ошибок БАМа // Дороги России XXI века. 2003. № 5. С. 17–19.
5. *Кондратьев В.Г.* О геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации автодороги Чита — Хабаровск / Материалы Научно-практической конференции «Проблемы проектирования и строительства автомобильной дороги Чита — Хабаровск». Иркутск: Изд-во ОАО «Иркутск-гипродорнии», 2003. С. 57–163.
6. *Кондратьев В.Г.* Стабилизация земляного полотна на вечномёрзлых грунтах: монография. Чита: Полиграф-Ресурс, 2011. 177 с.
7. *Кондратьев В.Г., Валиев Н.А.* Воздействие криогенных процессов и явлений на земляное полотно БАМ на участке Наледный — Хани и возможные пути его защиты / Труды 7-й Научно-технической конференции с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации земляного полотна железных дорог» (Чтений, посвященных памяти профессора Г.М. Шахунянца), г. Москва, 17 ноября 2010 г. М.: Изд-во МИИТ, 2011. С. 114–117.
8. *Кондратьев В.Г., Соболева С.В.* Концепция системы инженерно-геокриологического мониторинга автомобильной дороги «Амур» Чита — Хабаровск: монография. Чита: Забтранс, 2010. 176 с.
9. *Кондратьев В.Г., Соболева С.В., Палкин Д.Д.* Инженерно-геокриологические аспекты обеспечения безопасности федеральной автодороги «Амур» Чита — Хабаровск // Мир дорог. 2010. № 51. С. 2–4.
10. *Feng Wenjie, Wen Zhi, Sun Zhizhong, Wu Junjie.* Application and effect analysis of awning measure in cold regions / Proceedings of the 8-th International Symposium on Permafrost Engineering, 15–17 October 2009, Xi'an, China. P. 148–160.
11. *Zarling J.P., Breley A.W.* Thaw stabilization of roadway embankments constructed over permafrost: report № FHWA-AK-RD-81-20 Juneau, Alaska, USA: Alaska Department of Transportation & Public Facilities, 1986.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ ТРАССЫ МАГИСТРАЛЬНОГО КАНАЛА ТУОРА КЮЕЛЬ — ТАТТА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

FEATURES OF THE FROZEN SOIL PHYSICAL PROPERTIES OF THE «TUORA KUEL — TATTA» MAIN CANAL ROUTE IN CENTRAL YAKUTIA

САЛЬВА А.М.

Доцент кафедры «Защита в чрезвычайных ситуациях» горного факультета Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова (СВФУ), к.г.-м.н., г. Якутск, salvaam@mail.ru

SALVA A.M.

Associate professor of the «Protection in Emergency situations» department of the mining faculty of the Ammosov North-Eastern Federal University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), Yakutsk, salvaam@mail.ru

Ключевые слова:

Центральная Якутия; магистральный канал; мерзлые грунты; физические свойства; гранулометрический состав; суммарная влажность; число пластичности; консистенция.

Key words:

Central Yakutia; main canal; frozen soils; physical properties; granulometric composition; total moisture content; plasticity index; consistency.

Аннотация

В статье кратко описываются природные условия и физические свойства мерзлых грунтов на трассе самотечного магистрального канала Туора Кюель — Татта в Центральной Якутии.

Магистральный водовод Лена — Туора Кюель — Татта (рис. 1) является самым протяженным (150 км) в Центральной Якутии. Он включает в себя головную плавучую насосную станцию, четыре промежуточных водоема с насосными станциями, пять плотин, трубопровод из стальных труб и каналы общей протяженностью более 20 км.

Система магистрального водоснабжения в заречных районах Центральной Якутии состоит из трех водоводов (рис. 2): (1) река Лена — поселок Туора Кюель; (2) водохранилище поселка Бедеме — озеро поселка Тюнгиюлю; (3) река Лена — озеро Мюрю (с. Борогонцы). Заключительный 17-километровый участок первого водовода — это магистральный канал Туора Кюель — Татта (см. рис. 1, 2). Он проходит по долине и представляет собой естественный самотечный канал в русле ручья Синниэгэс.

В физико-географическом отношении район прохождения трассы магистрального канала Туора Кюель — Татта расположен на Лено-Амгинском междуречье в юго-восточной части Центрально-Якутской низменности. Он представляет собой Абалахскую аллювиальную террасированную равнину, слабо наклоненную на север и запад. Высотные отметки створа плотины водохранилища Туора Кюель и сопряжения канала с рекой Татта в районе исследования составляют 201 и 185 м соответственно. Поверхность эрозионно-аккумулятивной Абалахской террасы — холмистая и холмисто-увалистая с пойменными и эрозионно-термокарстовыми и карстовыми формами рельефа [9]. Она имеет относительно приподнятый «щоколь» и общий пологий уклон в направлении к более низкой Тюнгилюнской террасе [5].

Река Татта (левый приток реки Алдан) — основная водная артерия в районе исследования, протекающая с юго-запада на северо-восток. Большинство ее притоков полностью пересыхает в летний период. Ее русло сильно меандрирует и имеет ширину от 2 до 20 м и глубину от 0,3 до 1,7 м. Средняя скорость течения воды — до 0,2 км/ч. В Татту впадает ручей Синниэгэс, русло которого и является исследуемым самотечным магистральным каналом.

Abstract

The article briefly describes the natural conditions and frozen soil physical properties on the route of the self-flowing Tuora Kuel — Tatta Main Canal in Central Yakutia.



Реки данного района имеют смешанное питание с преобладанием снегового. Озера распространены широко, разнообразны по генезису, величине и форме [7]. Большая часть из них имеет термокарстовое происхождение. В долинах небольших рек и ручьев много пойменных старичных озер. Основные источники питания озер — талые, дождевые воды и подземные льды. Качество воды в них различное. Они находятся на разных стадиях усыхания. В процессе усыхания минерализация озерной воды повышается и вода становится непригодной для питьевых нужд. Под наиболее крупными озерами сохраняются водоносные талики значительной мощности. Озера Кетит-Кюель и Арылах были выбраны в качестве действующих водохранилищ.

Климат района исследований является резко континентальным. Это проявляется в больших годовых колебаниях температур (их перепад достигает 100°C) и в относительно малом количестве осадков (250–300 мм в год.) В целом суровые зимы Центральной Якутии переносятся относительно легко, что объясняется малым содержанием влаги в воздухе и незначительной силой ветра или почти полным его отсутствием. По летним же климатическим условиям Центральная Якутия приближается к южным степным и лесостепным районам России.

В тектоническом отношении район трассы канала Туора Кюель — Татта находится в пределах северо-восточной окраины Сибирской платформы на границе



Рис. 1. Магистральный самотечный канал Туора Кюель — Татта

Якутского поднятия и Алданского прогиба Алданской антеклизы. Поверхность кристаллического фундамента Алданской антеклизы пологая, почти ровная и только в местах сочленения с соседними тектоническими структурами имеет незначительный наклон. В пределах района известны крупные Ноторский и Борогонский глубинные разломы фундамента северо-западного простираения. Разрывные нарушения осадочного покрова вследствие слабой обнаженности завалуированы. Судя по рисунку гидросети, основные водотоки района

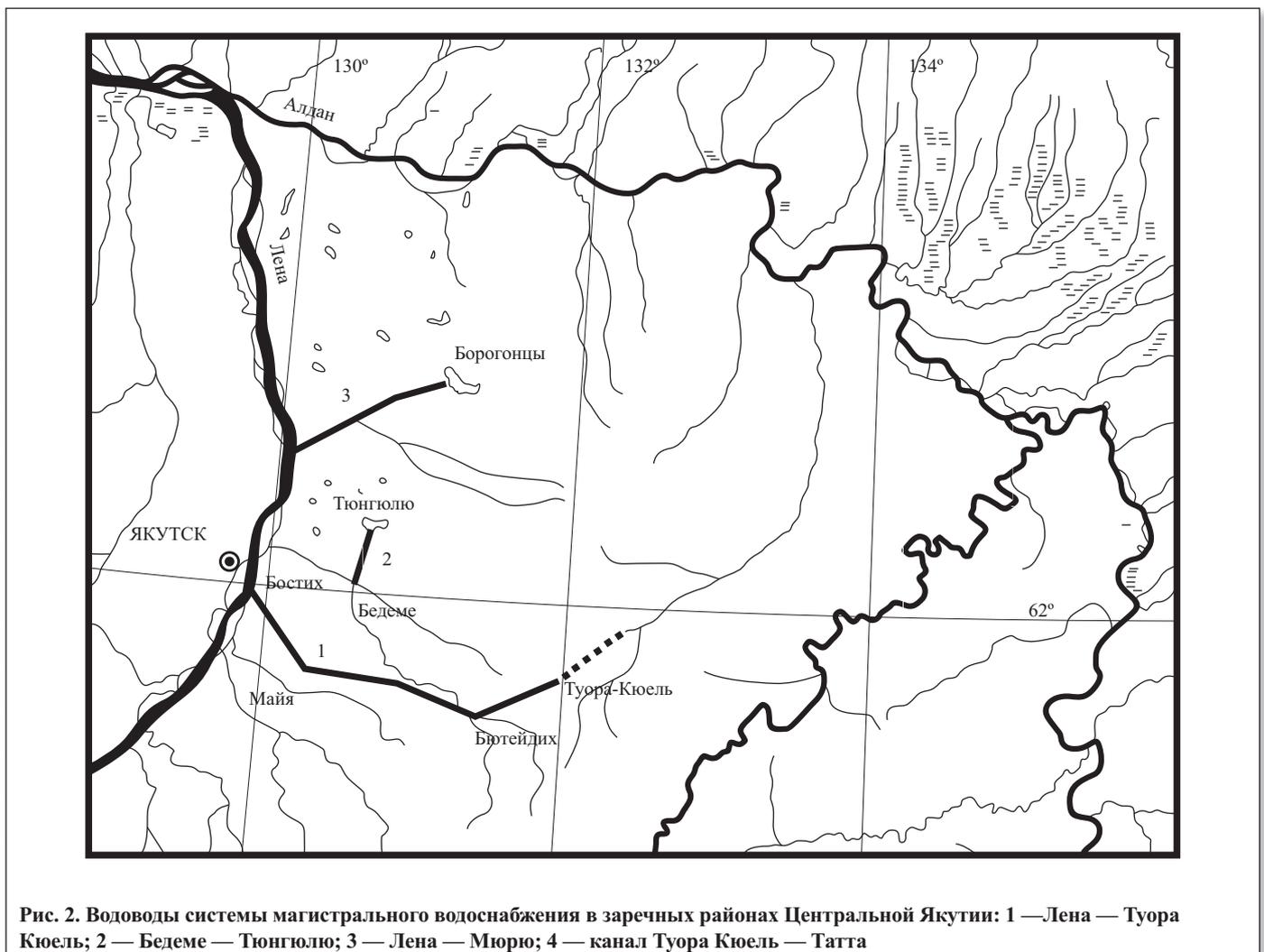


Рис. 2. Водоводы системы магистрального водоснабжения в заречных районах Центральной Якутии: 1 — Лена — Туора Кюель; 2 — Бедеме — Тюнгюлю; 3 — Лена — Мюрю; 4 — канал Туора Кюель — Татта

Таблица

Гранулометрический состав песчаных грунтов							
Разновидность грунта	Состояние толщи	Содержание фракций (%) с размером частиц (мм)					
		<0,1	0,1–0,25	0,25–0,5	0,5–2	2–10	>10
Песок крупный	СМС	10	8	25	38	15	4
Песок пылеватый	ММП	39	33	20	4	3	1
Песок средний	ММП	12	10	39	26	10	3

приурочены к разрывным нарушениям субширотного и субмеридионального направлений.

В геологическом строении района принимают участие юрские и неогеновые отложения, которые перекрыты толщей четвертичных грунтов [2]. Верхнечетвертичные отложения Абалахской террасы имеют мощность 30–55 м. В разрезе выделяются три горизонта грунтов различных генетических типов: нижний — аллювий малых рек; средний — озерно-болотный; верхний — делювиально-пролювиальный [4]. Особенностью верхнего горизонта отложений, представленных лессовидными суглинками, является развитие ледового комплекса мощностью 40–60 м [8]. Повторно-жильные льды полностью пронизывают толщу суглинков.

До изученной глубины (10 м) инженерно-геокриологический разрез трассы магистрального канала Туора Кюель — Татта сложен преимущественно суглинками, реже супесями и песками разной крупности, на некоторых участках залегают торф и заторфованные суглинки и глины (рис. 3). В ходе исследований по трассе канала производился отбор проб, по которым были изучены основные характеристики мерзлых грунтов, проведена статистическая обработка полученных данных и выполнен анализ результатов.

По профилю трассы канала было пробурено: 20 скважин глубиной по 3 м на понижениях; 21 скважина

глубиной по 5 м на более высоких участках; по одной 10-метровой скважине в прирусловой части и по две 5-метровых скважины на примыканиях поперек трассы на пересечениях канала с мостовыми переходами № 1, 2, 3, 4; три скважины глубиной по 5 м на площадке сопряжения канала с рекой Татта. Общий объем буровых работ составил 245 пог. м. Отбор проб из скважин производился с поверхности через каждые 0,5 м. Гранулометрический состав грунтов был определен по ГОСТ [3] в лабораторных условиях.

На рисунке 2 показан инженерно-геокриологический разрез по трассе магистрального канала. На участке скважин № 4–17 с поверхности до исследуемой глубины вскрыты исключительно суглинистые грунты. На участке скважин № 18–24 постепенно выходят на поверхность песчаные и супесчаные грунты, и затем пески и супеси вновь перекрываются глинистыми отложениями. Разновидности глинистых грунтов определялись по показателю числа пластичности I_p . Из 137 глинистых проб: 109 — суглинки; 25 — супеси; 3 — глины.

Гранулометрический состав песчаных грунтов был определен ситовым методом. В таблице показано содержание фракций песка в сезонномерзлом слое (СМС) и в толще многолетнемерзлых пород (ММП) по всей трассе магистрального канала до глубины исследования. В СМС преобладают крупные пески (38%), в ММП — пылеватые и средние (примерно по 39%).

Суммарная влажность многолетнемерзлых пород определялась по общепринятой методике [6]. Отбор проб из кернов, полученных при колонковом бурении, производился в специальные бюксы через каждые 0,5 м (из 20 скважин до глубины 3 м, из 29 скважин до глубины 5 м, из 4 скважин до глубины 10 м).

Была рассмотрена изменчивость суммарной влажности грунтов на трех участках магистрального канала с отложениями относительно разных литологических типов: (1) суглинистыми (скв. № 4–17); (2) супесчано-песчано-суглинистыми (скв. № 18–29); (3) супесчано-

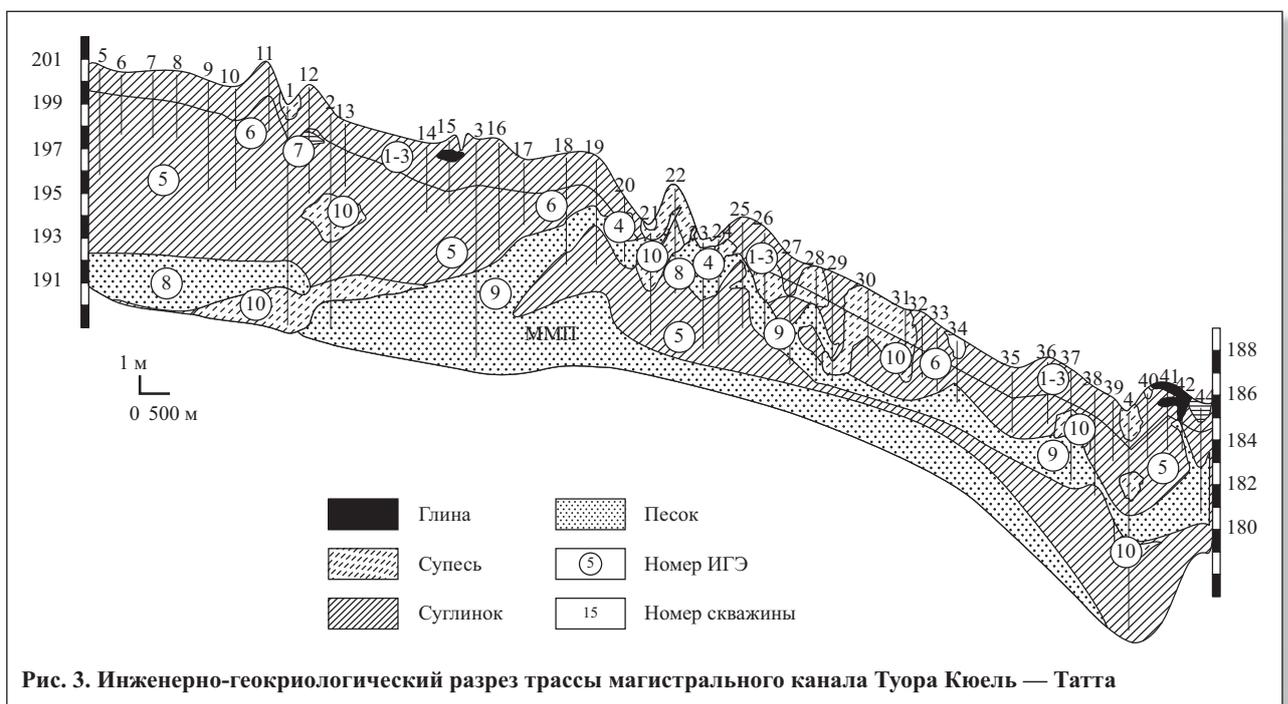


Рис. 3. Инженерно-геокриологический разрез трассы магистрального канала Туора Кюель — Татта



суглинистыми и льдистыми заторфованными суглинистыми (скв. № 30–45).

Участок № 1 (между скважинами № 4 и 17, то есть от створа водохранилища до небольшого озера). Суглинистые отложения. На глубине 0,5 м суммарная влажность (далее — влажность) грунтов изменяется от 15 до 88%. Значительное увеличение ее связано с увлажнением грунтов водами озер и болот. На глубине 1 м влажность составляет 13–39% и лишь в скважине № 15 (в месте развития термокарста) — 58%. На глубине 1,5 м она находится в интервале 12–36% и лишь в скважины № 11 и 15 она имеет повышенные значения (53 и 43% соответственно). На глубине 2 м влажность изменяется от 15 до 36%, но в скважинах № 12 (между мостовыми переходами 1 и 2), № 13 (у кромки озера Юрюнг-Кюель) и № 15 она выше и составляет 92, 51 и 56% соответственно. В толще многолетнемерзлых пород на глубине 2,5 м влажность находится в интервале 21–51%, но в скважине № 12 она равна 65%. На глубине 3 м она составляет 20–47% и лишь в скважине № 12 — 69%. На глубине 3,5 м влажность находится в диапазоне от 28 до 36%, но в скважине № 12 она равна 63%. Динамика изменений влажности на глубине 4,0, 4,5 и 5,0 м незначительна (28–38, 27–32 и 27–31% и соответственно).

Участок № 2 (между скважинами № 18 и 29). Супесчано-песчано-суглинистые отложения. На глубине 0,5 м влажность изменяется от 21 до 63%, и только в скважине № 23 она высокая — 85%. На глубине 1,0 м она варьирует от 6 до 59% и лишь в скважине № 28 достигает 102%. Эти изменения связаны с различными литологическими разностями грунтов. Далее на глубине 1,5 м влажность находится в интервале 12–44%, но в скважине № 28 она снова гораздо выше (89%). На глубине 2,0; 2,5 и 3,0 м она тоже варьирует в широких пределах (4–51, 4–61 и 16–59% соответственно).

Участок № 3 (между скважинами № 30 и 42). Супесчано-суглинистые и льдистые заторфованные суглинистые отложения. На глубине 0,5 м влажность изменяется от 14 до 50%, но в скважинах № 40 (во влажной низине) и № 41 (на краю озера) она достигает 126 и 108% соответственно. На глубине 1 м она меняется от 13 до 33%, но в скважине № 41 достигает 68%. На глубине 1,5 м влажность находится в интервале 18–33%, но в скважинах № 34, 41 и 42 она выше и составляет 64, 66 и 66% соответственно. Это объясняется наличием в пробах торфа и заторфованных суглинков. На глубине 2 м влажность изменяется от 19 до 41%, но достигает 60% в скважине № 39. На глубине 2,5 и 3,0 м она составляет 15–60 и 22–40% соответственно.

Мостовые переходы и площадка сопряжения с рекой Татта. Суглинки, реже супеси. На глубине 0,5 м влажность изменяется от 23 до 52%, но является очень высокой (116%) в скважине № 3. На глубине 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 м она находится в диапазонах 23–31, 25–42, 36–57, 34–51 и 28–48% соответственно. Значения влажности грунта в скважине № 44 соответствуют месту сопряжения трассы канала с рекой Татта, где глинистый грунт имеет высокую влажность — 97, 59, 85 и 51% на глубине 0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 м соответственно.

От влажности и содержания глинистых минералов зависит такое свойство грунта, как пластичность. От-

бор проб грунта для определения пластичности производился из керна: по 2 пробы — из 3-метровых скважин, по 3 — из 5-метровых, по 8–10 — из 10-метровых. С пластичностью тесно связана консистенция (показатель текучести) грунтов. Статистическая обработка данных по 135 пробам показала следующие результаты в этом отношении:

- суглинок твердый — 13 проб; супесь твердая — 2; глина твердая — 1;
- суглинок текучий — 60 проб; супесь текучая — 15; глина текучая — 2;
- суглинок текучепластичный — 16 проб; супесь пластичная — 7;
- суглинок полутвердый — 1 проба;
- суглинок тугопластичный — 5 проб;
- суглинок мягкопластичный — 10 проб.

Таким образом, при обработке проб грунтов разреза по трассе магистрального самотечного канала Туора Кюель — Татта были выявлены следующие особенности физических свойств мерзлых грунтов. Разновидности грунтов (по гранулометрическому составу и числу пластичности): суглинки (70%), супеси (14%), пески (11%), глины (1%), торф (1%), заторфованные суглинки (1%), а также (по льдистости) лед подземный (1%) и лед поверхностных вод (1%). Песчаные грунты по гранулометрическому составу являются в основном среднезернистыми. Максимальная суммарная влажность грунта рядом с озерами или другими поверхностными водами составляет: 1,76 д. ед. в скважине 40 на глубине 0,5 м; 1,16 д. ед. в скважине 3 на глубине 0,5 м; 1,02 д. ед. в скважине 28 на глубине 1 м; 1,08 д. ед. в скважине 41 на глубине 0,5 м. Это обусловлено высокой льдистостью ближе к поверхности. Глинистые грунты по большей части имеют текучую консистенцию (являются суглинками текучими). ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. М.: Высшая школа, 2002. 511 с.
2. Геологическая карта Якутии. Масштаб 1:5 000 000 / под ред. И.Я. Баранова. М.: 1977. 4 л.
3. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 1995.
4. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука, 1984. 126 с.
5. Камалетдинов В.А. Рельеф цоколя и строение четвертичного покрова Лено-Амгинского междуречья // Геология кайнозоя Якутии. Якутск: Изд-во Якутского филиала СО АН СССР, 1982. С. 94–103.
6. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. 2: Лабораторные методы / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1984. 438 с.
7. Реки и озера Якутии: краткий справочник / С.К. Аржакова и др. Якутск: Бичик, 2007. 136 с.
8. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Алданского междуречья. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 144 с.
9. Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979. 280 с.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРИТНОЙ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕЗОЗОЙСКИХ ДОЛЕРИТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПРОВИНЦИИ БОКЕ ГВИНЕЙСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ENGINEERING-GEOLOGICAL FEATURES OF THE LATERITIC WEATHERING CRUST OF MESOZOIC DOLERITES IN THE CENTRAL PART OF THE BOKE PROVINCE IN THE GUINEA REPUBLIC

КУЗИН С.В.

Аспирант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, заместитель главного геолога проектов ОАО «Мосгипротранс», г. Москва, sereja.kuzin@mail.ru

KUZIN S.V.

Postgraduate student of the department of engineering and ecological geology of the geological faculty of the Lomonosov Moscow State University, deputy chief geologist on projects of the «Mosgiprotrans» OJSC, Moscow, sereja.kuzin@mail.ru

Ключевые слова:

Гвинейская республика; провинция Боке; латеритная кора выветривания; строение; мезозойские долериты; грунты; физические свойства; физико-механические свойства.

Key words:

Guinea Republic; Boke Province; lateritic weathering crust; structure; mesozoic dolerites; soils; physical properties; physical-mechanical properties.

Аннотация

В статье рассматривается строение латеритной коры выветривания мезозойских долеритов в центральной части провинции Боке Гвинейской республики. Выделяются зоны коры. По каждой из них приводится характеристика физических и физико-механических свойств грунтов. Результаты исследований сопоставляются с литературными данными о строении и свойствах латеритной коры выветривания долеритов в других районах Гвинеи.

Введение

Гвинейская республика является одним из наиболее интересных полигонов для изучения процессов химического выветривания горных пород. На ее территории развиты самые разнообразные породы (осадочные, магматические, метаморфические), служащие материнским субстратом для выветривания. Геоморфологические условия на территориях от приокеанической равнины до возвышенных плато Фута-Джаллон также весьма разнообразны. Одними из основных факторов, оказывающих влияние на состав и морфологию латеритных кор выветривания, являются положение выветривающихся пород относительно форм рельефа и их состав.

В данной статье обобщены результаты инженерно-геологических исследований, выполненных сотрудниками ОАО «Мосгипротранс» в 2008 году с участием автора при поиске и предварительной разведке месторождений инертных строительных материалов (песка, песчано-гравийной смеси, щебня) для строительства боксито-глиноземного комбината «Диан-Диан» в Гвинейской республике.

Abstract

The article considers the structure of the laterite weathering crust of mesozoic dolerites in the central part of the Boke Province in the Guinea Republic. Several zones of the crust are distinguished. Physical and mechanical soil properties for each of them are characterized. The research results are compared with published data on the structure and properties of the lateritic weathering crust of dolerites in other regions of Guinea.

Природные условия района исследований

Исследуемая территория находится в районе группы месторождений «Диан-Диан» (Dian-Dian) в провинции Боке (Boke) Гвинейской республики. В геоморфологическом отношении этот район расположен на западной окраине среднегорного массива Фута-Джаллон (рис. 1). Он представляет собой ряд низкогорных массивов (бовалей) с характерными чертами столовых гор с абсолютными отметками 180–260 м, расчлененных долинами рек и временных водотоков с глубиной вреза до 100 м. Склоны речных долин в верхней части часто пологие, в нижней средней крутизны и крутые. Они



интенсивно расчленены глубоко врезаемыми оврагами с крутыми бортами. Днища крупных речных долин часто уплощенные, долины их боковых притоков, как правило, имеют глубоко врезаемые русла. Поверхность бовалей и склонов местами покрыта лесной и саванной растительностью, часто с густым кустарниковым подлеском, местами полностью обнажена. Обширные открытые пространства, лишённые в сухой сезон всякой растительности, характерны для поверхностей плато. На днищах речных долин с постоянными водотоками местами сохранились остатки тропических лесов.

Основной водной артерией района является река Когон (Kogon). Практически все ее притоки, образующие достаточно густую и глубоко врезаемую эрозийную сеть, в сухой сезон пересыхают. Исключениями являются наиболее крупные притоки Сорое (Sorohye), Кори-Кори (Kori-Kori), Тотия (Totia) и др., в которых при отсутствии видимого стока к началу сезона дождей сохраняется некоторое количество воды в понижениях русла (за счет разгрузки подземных вод). В сезон дождей расходы в постоянных водотоках возрастают на порядок и более.

Район исследований характеризуется практически сплошным развитием бокситоносных латеритных кор выветривания мезозойских (Mz) долеритов и терригенных пород девонской свиты Фаро (Dfr) с мощной кирасой сверху. Только по долинам наиболее крупных постоянных и временных водотоков латеритные коры перекрыты современными пролювиально-делювиальными и аллювиальными отложениями. Местами латеритные коры под руслами рек размыты [1].

Девонские отложения свиты Фаро занимают основные площади западной окраины плато Фута-Джаллон. В нижней части они представлены мелкозернистыми кварцевыми песчаниками с подчиненными прослоями тонкоплитчатых ожелезненных алевролитов, в средней — тонкоплитчатыми серыми и бурыми алевролитами, в верхней — пестроцветными мелкозернистыми тонкоплитчатыми кварцевыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками с подчиненными прослоями бурых плотных алевролитов и темных аргиллитов [5].

Мезозойские (Mz) интрузии долеритов и габбро-долеритов широко распространены к северо-востоку и востоку от города Боке. Они представлены как пластовыми интрузиями (силлами), так и дайками и иногда образуют высокие вертикальные уступы в руслах рек и на склонах. Силлы и дайки сложены тонкозернистыми и мелкозернистыми серыми долеритами и габбро-долеритами. Текстура у них массивная, структура офитовая. В состав пород входят ромбический пироксен, плагиоклаз, биотит, рудные минералы [1].

Современные представления о строении и свойствах латеритных кор выветривания долеритов в провинциях Киндия и Канкан Гвинейской республики

В научной литературе информации о строении и особенно свойствах грунтов латеритных кор выветривания долеритов очень мало. Одной из первых была описана такая кора вблизи деревни Коленте (Kolente) в гвинейской провинции Киндия (Kindia) (Р. Мэньеном в 1958 году [9]) (см. рис. 1). Р. Мэньен выделил в ней следующие горизонты (сверху вниз):

- 0–25 см — гравийный, представленный железистыми конкрециями с супесчаным заполнителем (мусорный горизонт);
- 25–250 см — красно-коричневая кираса;
- 250–350 см — формирование кирасы, состоящей из многочисленных прочных коричнево-красных конкреций в красной глинистой матрице;
- 350–420 см — пестроцветный глинистый с небольшим содержанием конкреций;
- 420–600 см — красный глинистый;
- 600–700 см — охристо-желтый пористый низкой плотности;
- 700 см и ниже — слабоизмененных долеритов [9].

Среди работ советских исследователей выделяется статья «О некоторых инженерно-геологических особенностях тропического элювия (на примере Гвинеи)», автором которой является С.И. Скиба [7]. В ней рассмотрено строение латеритной коры выветривания долеритов долины реки Бауле в провинции Канкан (см. рис. 1). С.И. Скиба выделяет следующие ее основные зоны и горизонты:

1) зона относительно сохранных пород;

2) трещинная зона:

- горизонт I, характеризующийся широким развитием процессов выветривания вдоль трещин (ниже, за пределами данной зоны, порода практически не подвержена процессам выветривания);

3) обломочная зона:

- горизонт разборной скалы II-A мощностью не более 2 м, представленный глыбами слабовыветрелых пород, разобленных глинами, суглинками или супесями, развившимися вдоль трещин выветривания;
- горизонт рухляка II-B мощностью от 0,2 до 3 м, представленный хрупким охристо-желтым ферралитом, сформировавшимся в результате глубокого выветривания долеритов;

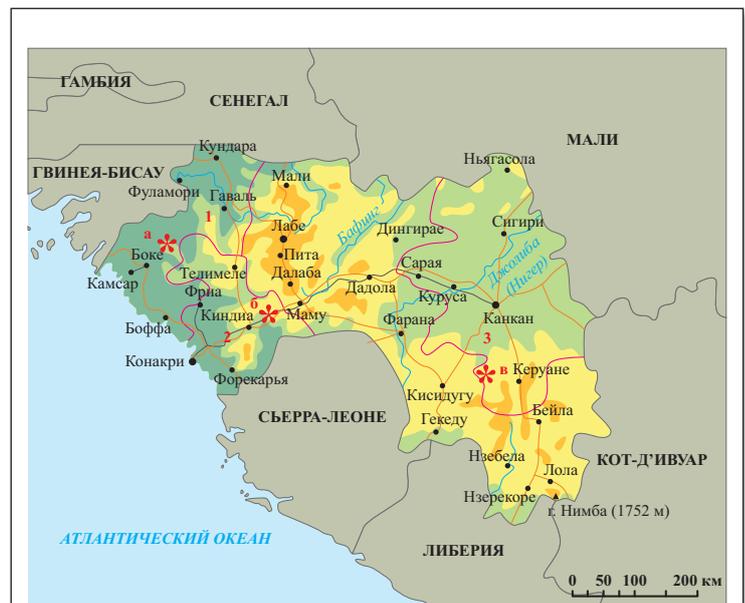


Рис. 1. Районы изучения латеритных кор выветривания долеритов. Провинции: 1 — Боке, 2 — Киндия, 3 — Канкан. Площадки изучения: а — Диан-Диан, б — Коленте, в — Бауле

Литологический разрез	Мощность (м)	Зона	Возраст	Описание грунтов
	4-6	4б	e _{кв} II-IV	Кираса от низкой прочности до малопрочной
	3-7	3б		Дресвяный грунт красновато-коричневый с суглинистым заполнителем средней степени водонасыщения, с щебнем более 30%, дресва и щебень скального латерита
	3-12	3а		Глины и суглинки пестроцветные от тугопластичных до твердых, в кровле с включениями дресвы и щебня скального латерита, в подошве — с глыбами долерита
	1-3	2		Супесь охристо-зеленовато-желтая пластичная, со структурой долерита, с глыбами слабыветрелых долеритов
	0,5-3	1	mbMZ	Долерит средней прочности трещиноватый
	-	0		Долерит прочный, средней прочности слаботрещиноватый

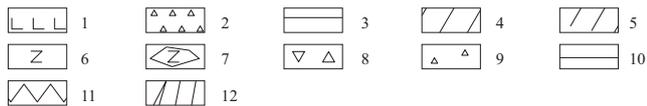


Рис. 2. Строение латеритной коры выветривания долеритов в центральной части провинции Боке Гвинейской республики. Грунты: 1 — кираса; 2 — дресвяный грунт с суглинистым заполнителем; 3 — глины; 4 — суглинки; 5 — супеси; 6 — долериты. Включения: 7 — глыб долерита; 8 — щебня скального латерита; 9 — дресвы скального латерита. Границы: 10 — согласные; 11 — несогласные. Прочие обозначения: 12 — трещиноватость

4) дисперсная зона:

- *горизонт элювия долеритов III-A*, представленный глинами преимущественного каолинового состава;
- *горизонт элювия долеритов III-B*, отличающийся от нижележащих горизонтов полной дезинтеграцией реликтового структурного скелета глин и суглинков и обогащенностью гидроксидами железа;

5) зона цементации:

- *горизонт структурного боксита IV-A*, образовавшийся в результате замещения основных породообразующих минералов (долеритов-плагиоклазов и пироксенов) гиббситом и гетитом, с залеганием боксита в виде крупных блоков, разобщенных вертикальными «карманами», выполненными красной глиной с латеритной дресвой и конкрециями;
- *горизонт крепкой кавернозной породы IV-B (кираса)*, образовавшийся при цементации грунтов гидроксидами железа, а также аморфным кремнеземом в результате выпадения этих компонентов в осадок из грунтовых вод (в связи с неоднородной цементацией крепость этой породы изменяется в широких пределах: слабые разности кирасы разрабатываются киркой, крепкие — только пневматическим молотком [7]).

С.И. Скиба также характеризует влажность и физические свойства грунтов в каждом выделенном горизонте [7].

Состав и строение пород латеритной коры выветривания долеритов в провинции Боке Гвинейской республики

В ходе полевых работ при поиске и разведке инертных строительных материалов в районе группы месторождений «Диан-Диан» были выбраны и тщательно изучены долины двух правых притоков реки Когон — Тотия и Кори-Кори.

Обе долины — V-образной формы с узким (5–15 м) днищем, заросшим тропическими деревьями и кустарником, и крутыми бортами, сплошь заросшими высоким густым кустарником и высокой травой. Глубина вреза — 45–55 м. Долериты обнажаются в руслах рек в виде массивных плит с отдельными выступающими над водой глыбами.

В дополнение к инженерно-геологическим изысканиям были изучены химический и минеральный состав, магнитная восприимчивость, скорость продольных и поперечных волн для образцов кирасы, латерита, каолиновых глин и долерита.

Сводный разрез изученной грунтовой толщи представлен следующими образованиями (снизу вверх) (рис. 2).

0. Зона сохранных долеритов. Представлена зеленовато-серыми слаботрещиноватыми долеритами с массивной однородной текстурой (рис. 3, а). Их кристаллы часто анизометричные, имеют минимальный размер 0,2 мм, максимальный — 2 мм, преобладающий — 0,4–0,5 мм. Порода представлена плагиоклазом (светлыми вытянутыми кристаллами длиной около 1 мм и шириной примерно 0,1–0,3 мм) и пироксенами (цветными редкими кристаллами неправильной формы, достигающими 2 мм, разбитыми системами микротрещин) (рис. 3, б) с примесью рудных минералов (табл. 1). Из этой зоны был отобран 41 образец долеритов. Все образцы были прочными и средней прочности. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие прочных образцов в водонасыщенном состоянии составило 58 МПа, образцов средней проч-

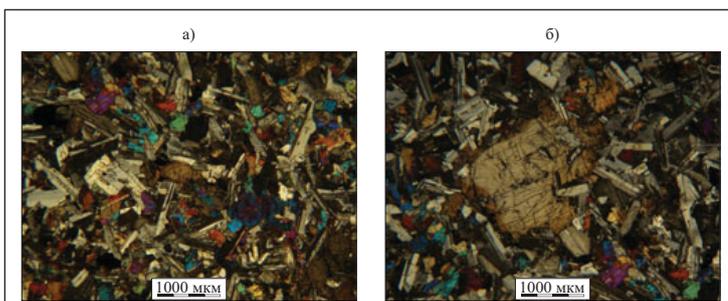


Рис. 3. Строение долерита: а — общий вид структуры; б — кристалл пироксена (в центре), разбитый микротрещинами (увеличение в 10 раз)

ности — 47 МПа. Их средняя плотность была 3,03 и 3,02 г/см³ соответственно.

1. Трещинная зона долеритов. Представлена зеленовато-серыми слабыветрелыми трещиноватыми долеритами средней прочности и прочными мощностью до 3 м (эта зона часто отсутствует в профиле). Характеризуется развитием выветривания вдоль трещин, заполненных дисперсным материалом или открытых.

2. Обломочная зона (зона рухляка). Представлена пластичными супесями от зеленовато-серых до охристо-желтых (ферралитом) мощностью 2–4 м с включением слабыветрелых глыб долерита размером до 1 м (но нередко глыбы в профиле отсутствуют). Зона сформировалась в результате глубокого выветривания долеритов. В процессе полевых работ из нее было отобрано 6 образцов. Для них характерны высокая плотность частиц (в среднем 3,08 г/см³), низкая плотность скелета грунта (1,22 г/см³), довольно большой угол внутреннего трения (19°) и достаточно высокое удельное сцепление (0,043 МПа).

3а. Зона каолиновых грунтов. Сложена пестроцветными (красновато-бежевыми) глинами и суглинками от твердой до тугопластичной консистенции с включением дресвы и щебня до 15%. Мощность зоны — от 3 до 10 м. Она была вскрыта во всех скважинах, пробуренных на площадках проектируемых карьеров, за исключением прирусловых скважин. В процессе полевых работ из этой зоны было отобрано 33 образца. Из них 11 в соответствии с ГОСТ 25100-2011 являются глинами твердыми и полутвердыми, 6 — глинами тугопластичными, 9 — суглинками твердыми и полутвердыми, 5 — суглинками тугопластичными. Для грунтов этой зоны, как и для всех каолиновых глин, характерны высокие значения пределов текучести (62% для глин, 54% для суглинков) и пределов пластичности (42% для глин, 41% для суглинков). Их отличительная особенность — низкие значения плотности скелета грунта (1,15–1,25 г/см³).

3б. Зона латеритов. Представлена красновато-коричневым дресвяным грунтом с суглинистым, реже супесчаным заполнителем, насыщенным водой и средней степени водонасыщения мощностью от 3 до 7 м. Дресва скальных латеритов представлена алюможелезистыми минералами, такими как гиббсит, гетит, гидрогетит, гематит (см. табл. 1). В химическом составе преобладают оксид алюминия (36,79%), оксид железа (20,57%) и диоксид кремния (22,28%) (табл. 2). В ходе полевых работ из этой зоны было отобрано 7 образцов. Анализ их гранулометрического состава показал, что в дресвяном грунте содержится от 22,8 до 38,6% (в среднем

Таблица 1

Минеральный состав грунтов зоны кирасы, латерита и долерита				
Минералы	Содержание (%) в образцах			
	1-1 (светлая часть)	1-2 (красная часть)	2 (включения)	3
	Кираса (зона 4б)		Латерит (зона 3б)	Долерит (зона 0)
Анортит	-	-	-	25,5
Бемит	3,7	-	-	-
Гиббсит	91,2	59,3	70,3	-
Гетит	1,5	9,0	16,6	-
Гидрогетит	-	-	10,0	-
Гематит	-	30,7	3,1	1,8
Альбит	-	-	-	49,6
Анализ	3,6	1,0	-	-
Доломит	-	-	-	2,5
Кварц	-	-	-	7,4
Иллит	-	-	-	6,9
Каолинит	-	-	-	6,3

31,5%) частиц крупнее 10 мм (щебня), а количество заполнителя варьирует от 23,2 до 44,2% (составляя в среднем 35,5%).

4б. Зона кирасы. Сложена красновато-коричневой с бежевыми пятнами крепкой кавернозной трещиноватой породой. Средняя мощность кирасы составляет 4–6 м, на прирусловых участках долин рек кираса мощностью до 2 м залегает непосредственно на долеритах. Она состоит из обломков прочных разновидностей ферритов, боксит-ферритов и железных руд различных форм и размеров, сцементированных железистым цементом (рис. 4, 5). Светлая часть кирасы представлена в основном гиббситом (91,2%) с примесью гетита, бемита и анатаза. В ее химическом составе преобладают оксид алюминия (21,51%) и диоксид кремния (47,38%), а содержание оксида железа в ней составляет всего 2,25%. Красная часть состоит из гиббсита (59,3%) и гематита (30,7%) с небольшим количеством гетита и анатаза. В ее химическом составе преобладают оксид алюминия (32,77%), оксид железа (32,28%) и диоксид кремния (14,54%) (см. табл. 1, 2). В ходе полевых работ из зоны кирасы было отобрано 15 образцов. Это были грунты от низкой прочности (4 образца имели среднее значение предела прочности в водонасыщенном

Таблица 2

Химический состав грунтов зон кирасы, латеритов и долеритов												
Зона	Образец	Содержание (%) макрокомпонентов										
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	S	п.п.п.*
Кирасы (4б)	1-1 (светлая часть)	47,38	21,51	2,25	-	0,27	3,46	0,03	0,07	0,08	0,02	24,93
	1-2 (красная часть)	14,54	32,77	32,28	0,06	3,92	2,59	0,03	0,19	следы	-	13,62
Латеритов (3б)	2 (включения)	22,28	36,79	20,57	0,05	2,50	1,54	0,11	0,26	0,02	-	15,88
Долеритов (0)	3	40,67	27,56	9,17	14,55	4,40	1,12	1,28	0,32	0,21	-	0,72

* п.п.п. — потери при прокаливании.

Таблица 3

Средние значения влажности и показателей физико-механических свойств грунтов лагеритной коры выветривания долеритов провинции Боке Гвинейской республики																			
№ зоны	Грунт	Природная влажность W_p , д.ед.	Граница текучести W_L , д.ед.	Граница раскатывания W_p , д.ед.	Плотность грунта при естественной влажности ρ , г/см ³	Плотность частиц грунта ρ_s , г/см ³	Коэффициент водонасыщения S_r , д.ед.	Коэффициент пористости e , д.ед.	Угол внутреннего трения ϕ , град.	Удельное сцепление C , кПа	Модуль деформации E , МПа	Предел прочности на одноосн. сжатие $R_{сж}$, МПа		Коэффициент размягчаемости $k_{собр}$ д.ед.	Магнитная восприимчивость χ , 10^{-3} ед. СИ	Скорость волн, км/с		Коэффициент Пуассона μ	Динамический модуль упругости $E_{дин}$ ГПа
												в сухом сост.	в водонасыщ. сост.			V_p	V_s		
46	Кираса малопрочная	0,04	-	-	2,40	3,15	-	-	-	-	-	10,1	7,2	0,71	0,09	3,9	2,2	0,32	22
	Кираса пониженной прочности	0,04	-	-	2,05	3,11	-	-	-	-	-	4,9	3,8	0,78	-	-	-	-	-
	Кираса низкой прочности	0,05	-	-	1,83	3,03	-	-	-	-	-	3,9	2,8	0,72	-	-	-	-	-
36	Древесный грунт с сульфидным заполнителем	0,15	0,54*	0,41*	2,07	2,90	0,71	0,61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Глины твердые	0,38	0,62	0,42	1,73	2,85	0,85	1,27	18	30	27	-	-	-	0,03	2,1	1,2	0,24	5
	Глины тугопластичные	0,48	0,59	0,41	1,70	2,85	0,92	1,48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3а	Суглинки твердые	0,39	0,54	0,41	1,72	2,83	0,86	1,29	17	27	25	-	-	-	-	-	-	-	-
	Суглинки тугопластичные	0,43	0,50	0,37	1,68	2,83	0,86	1,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Супесь пластичная	0,39	0,41	0,35	1,69	3,08	0,78	1,53	19	43	12	-	-	-	-	-	-	-	-
0	Долерит средней прочности слаборециноватый	-	-	-	3,02	3,11	-	-	-	-	-	54,0	47,0	0,87	5,99	6,2	2,6	0,38	56
	Долерит прочный слаборециноватый	-	-	-	3,03	3,15	-	-	-	-	-	67,0	58,0	0,87	-	-	-	-	-

* Для заполнителя.



состоянии 2,8 МПа) до малопрочных (6 образцов — 7,2 МПа). Их средняя плотность составила 1,83 и 2,40 г/см³ соответственно.

В дополнение отметим, что показатели прочностных свойств долеритов, кирасы и глинистых грунтов определялись в лаборатории исследования строительных материалов и конструкций Политехнического института Конакрийского университета (г. Конакри, Гвинейская республика). Пределы прочности на одноосное сжатие устанавливались на гидравлическом прессе российского производства ПГ-4-500. Исследования физических свойств глинистых и крупнообломочных грунтов проводились в полевой грунтово-химической лаборатории ОАО «Мосгипротранс» по стандартным методикам. Определение химического и минерального состава, магнитной восприимчивости, скорости прохождения продольных и поперечных волн проводилось на кафедре инженерной и экологической геологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Химический состав образцов изучался с помощью спектрометрического флуоресцентного метода и прибора «Спектроскан МАХ-GV». Минеральный состав определялся путем рентгенодифракционного количественного анализа на рентгеновском дифрактометре Ultima-IV производства фирмы Rigaku (Япония). Для ускорения съемки и повышения качества экспериментальных данных использовался полупроводниковый детектор нового поколения DTex/Ultra. Магнитная восприимчивость образцов устанавливалась на приборе «Каппаметр КТ-6». Скорости прохождения продольных и поперечных волн определялись для каждого образца в трех разных плоскостях на приборе «Ультразвук».

Средние значения влажности и физико-механических свойств грунтов по зонам приведены в табл. 3.

Результаты определения строения и свойств латеритной коры выветривания долеритов района месторождения «Диан-Диан» в провинции Боке весьма схожи с данными, представленными в работах С.И. Скибы [7] и Р. Мэньена [9], проводивших исследования на реке Бауле в провинции Канкан и вблизи деревни Коленте в провинции Киндия (соответственно). Можно предположить, что установленные закономерности строения и свойств грунтов этой коры будут характерны и для других районов Гвинеи.

Выводы

В строении латеритной коры выветривания, сформировавшейся на мезозойских долеритах в центральной части провинции Боке Гвинейской республики, выделяется шесть зон (сверху вниз): кирасы (мощностью 4–6 м), латеритов (3–7 м), каолиновых грунтов (3–12 м), ферраллитная (1–3 м), трещиноватых долеритов (0,5–3 м) и сохранных долеритов. Породы, слагающие эти зоны, весьма разнообразны — скальные, полускальные, дисперсные (глины, суглинки, дресвяные грунты и др.).

В процессе химического выветривания долеритов происходит полное преобразование материнской структуры с замещением породообразующих минералов долерита в первую очередь глинистыми, а затем и алюможелезистыми минералами.



Рис. 4. Образец кирасы

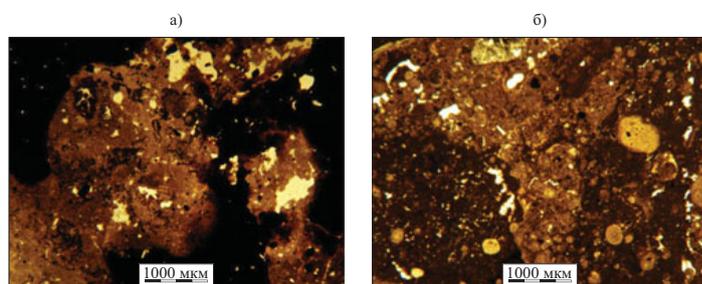


Рис. 5. Строение кирасы (увеличение в 10 раз)

Однотипность строения латеритной коры выветривания долеритов в разных исследованных провинциях Гвинейской республики позволяет предположить, что выявленные закономерности ее строения и свойств характерны для всех районов этой страны, а также для смежных с ней территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев М.И. и др. Поиск и предварительная разведка месторождений инертных строительных материалов (песка, ПГС и щебня) для строительства БГК Диан-Диан в Гвинейской республике: отчет. М.: Мосгипротранс, 2008. 186 с.
2. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний. М.: Стандартинформ, 2012. 25 с.
3. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: Стандартинформ, 2011. 63 с.
4. Конне А.М. Строение, состав и свойства латеритных кор выветривания Леоно-Либерийского массива и их использование в дорожном строительстве: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. М.: 2012. 25 с.
5. Мамедов В.И., Буфеев Ю.В., Никитин Ю.А. Геология Гвинейской республики. Том 1. М.: Акварель, 2010, 320 с.
6. Михайлов Б.М. Геология и полезные ископаемые западных районов Либерийского щита. М.: Недра, 1969. 180 с.
7. Скиба С.И. О некоторых инженерно-геологических особенностях тропического элювия (на примере Гвинеи) // Геология и разведка. 1979. № 10. С. 107–112.
8. Boski T., Paere R. Quantitative mineralogy of bauxite profiles in se Guinea Bissau // Catena. 1988. № 15. С. 417–432.
9. Maignien R. Review of research on laterites. Paris: Unesco, 1966. 148 p.

О СВЯЗИ КРУТИЗНЫ ПРИРОДНЫХ ОТКОСОВ С ОСОБЕННОСТЯМИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВОВ ФЛИША СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

INFLUENCE OF THE DISPERSION OF DISTANCES BETWEEN STRATA FRACTURES IN FLYSCH CYCLITES IN THE NORTH-WESTERN CAUCASUS ON THE ANGLE OF STABLE NATURAL SLOPE

СЕМЕНОВ А.Ю.

Аспирант Российского государственного геолого-разведочного университета им. С. Орджоникидзе (РГГРУ), г. Москва, ayusemenov@yandex.ru

SEMENOV A.Yu.

Postgraduate student of the Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, ayusemenov@yandex.ru

Ключевые слова:

Черноморское побережье Северо-Западного Кавказа; флишевая формация; флишевые циклиты; структура массива грунтов; неоднородность; трещиноватость; трещины напластований; параметры трещин; дисперсия расстояний между трещинами; устойчивость склонов и откосов; угол устойчивого природного откоса; статистический анализ.

Key words:

Black Sea coast of the North-West Caucasus; flysch formation; flysch cyclites; rock massif structure; heterogeneity; fracturing; strata fractures; parameters of fractures; distances between fractures; dispersion; stability of slopes; angle of stable natural slope; statistical analysis.

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы трещиноватости массивов грунтов флишевых формаций Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. Представлены геологическая характеристика Пшадско-Беттинского междуречья и результаты замеров трещин на обнажениях. Проведен статистический анализ зависимостей между крутизной откоса и дисперсией расстояний между трещинами напластования.

Введение

В сложных инженерно-геологических условиях Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа требования строительства к изучению скальных грунтов непрерывно возрастают. Становится все более очевидным, что для принятия оптимальных проектных решений, инженерных работ, эксплуатации сооружений необходимо знать не только физико-механические свойства грунтов, но и инженерно-геологические параметры, характеризующие их массивы в целом.

В данной работе под массивом понимается геологическое образование, при инженерно-геологическом изучении которого учитывается его дискретность, обусловленная нарушением сплошности, в частности трещиноватостью. Как показывает практика, именно эти поверхности ослабления в большей степени определяют неоднородность физико-механических и фильтрационных свойств скальных массивов, их устойчивость и напряженное состояние.

В качестве объектов исследования были выбраны скальные массивы грунтов, слагающие флишевую формацию южного склона Северо-Западного Кавказа. Предметная область включала изучение степени их неоднородности, обусловленной трещиноватостью.

Как известно, классифицирование массивов осуществляется на основе выделения квазиоднородных единиц, в границах которых справедливы все полученные инженерно-геологические данные. При таком подходе в нашем случае инженерно-геологические массивы первого порядка соответствуют иерархическому уровню Новороссийского синклинория и обособляются по однотипности литологической формации, а также однородности характера региональной дислоцированности. Для характеристики массивов этого ранга на первое место выходят такие показатели, как возраст,

Abstract

The article considers the problems of fracturing of flysch formations of rock massives on the Black Sea coast of the North-West Caucasus. The Pshada-Betta interfluvium is geologically characterized. Some measurement results of fractures at outcrops are presented. Statistical analysis of the «steepness of slope — dispersion of distances between strata fractures» dependences is carried out.



история формирования, тектоническая активность и гидрогеологическое строение территории.

Инженерно-геологические массивы второго порядка различаются по однородности состава и сложения литологических комплексов и однородности пликвативных дислокаций внутри них. По литологическим особенностям в составе Новороссийского комплекса выделяются супсехская и прасковеевская серии, грунты которых характеризуются разной степенью тектонической нарушенности. На этом уровне нашла отражение информация о составе, строении, условиях залегания грунтов, характере и степени дислоцированности массивов, их морфологии и гидрогеологических условиях.

Выделение инженерно-геологических массивов третьего порядка базируется на однородности литологического состава свитного уровня и характере имеющейся трещиноватости. Особую важность здесь приобретает изучение локальных факторов формирования инженерно-геологических условий: строение, свойства и состояние массива по классификационным и косвенным показателям.

Цель данной работы сводилась к определению в пределах массивов третьего порядка надлежащих условий для получения максимального угла устойчивого природного откоса. Для этого решались следующие задачи: (1) выделение массивов с однородной блочностью; (2) выявление закономерностей в связях между трещиноватостью и крутизной откоса.

Характеристика объекта исследований

В качестве модельного участка было выбрано Пшадско-Бетгинское междуречье, расположенное на отрезке Черноморского побережья между поселками Криница и Архипо-Осиповка (Геленджикский район).

Работы проводились на обнажениях произвольной площади в пределах четырех геологических массивов, свитная принадлежность которых была определена при стратиграфической разбивке С.Л. Афанасьевым [2] (табл. 1, 2). В качестве представителей карбонатного флиша были выбраны обнажения васильевской и снегуревской свит. Обнажения свит сукко и навагирская были взяты как представители терригенного флиша. Согласно геологическим работам, проведенным А.Н. Резниковым на изучаемой площади в 1979 г. [2], нижняя подсвита навагирской свиты была выделена в ранге свиты сукко.

Васильевская свита (K_{2vs}) литологически представлена слабоалевритовым (7%) сильномергельным (58% CaCO₃) среднеритмичным (с толщиной цикла около 41 см) биогенным ортофлишем (рис. 1). В разрезе доминируют темно-серые, голубоватые с выветрелой поверхности среднеалевритистые слабоизвестковистые мергели (82%) с прослоями алевролитов (6%), известняков (4%), сильноизвестковистых (3%) и глинистых (2%) мергелей, граувакк (2%) и песчаников (1%). Мощность свиты составляет 240–250 м. Ее позднемаастрихтский возраст определяется находками остатков фораминифер *Abathomphalus mayaroensis* (Balli).

Снегуревская свита (K_{2sn}) сложена крупноритмичным (52 см) грубым биогенным парафлишем (рис. 2). Элементы ритмов состоят из обломочных грунтов, включающих граувакки (3%), песчаники (3%), алевролиты (4%), и пелитовой составляющей — слабоизвестковистых (78%), сильноизвестковистых (3%) и глинистых мергелей (3%). Биогенные грунты представлены известняками (6%). Суммарная мощность данной свиты составляет 416 м. Ее позднемаастрихтский возраст определяется по микрофауне — остаткам фораминифер *Abathomphalus mayaroensis* (Bolli) и *Reusella minuta* (Marsson).

Таблица 1

Стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Северо-Западного Кавказа (по [2])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Меловая	Верхний	Маастрихтский	Верхний	Новороссийский	Супсехская	Снегуревская	Верхняя	176	Карбонатный
							Нижняя	240	
						Васильевская	Верхняя	140	
							Нижняя	102	
			Лихтеровская			Верхняя	124		
						Средняя	141		
						Нижняя	185		
						Мысхакская	Верхняя	166	
Средняя	157								
						Нижняя	105		

Таблица 2

Стратиграфическая схема датских отложений Северо-Западного Кавказа (по [2])									
Система	Отдел	Ярус	Подъярус	Комплекс	Серия	Свита	Подсвита	Мощность, м	Тип флиша
Палеогеновая	Нижний (палеоцен)	Датский	Нижний	Новороссийский	Прасковеевская	Цицеская	Верхняя	112	Терригенный
							Средняя	100	
							Нижняя	124	
						Анапская	Верхняя	202	
							Нижняя	203	
						Навагирская	Верхняя	153	
							Средняя	145	
							Нижняя (Сукко)	167	



Рис. 1. Обнажение васильевской свиты (K_2vs)



Рис. 2. Обнажение снегуревской свиты (K_2sn)



Рис. 3. Обнажение свиты сукко (P_1sk)



Рис. 4. Обнажение навагирской свиты (P_1nv)

*Подсвита сукко*¹ (P_1sk) характеризуется крупноритмичным (45 см) грубым флишем с преобладанием сильноглинистых мергелей (65%) и аясков² (54%). Представлена также песчаниками (10%), алевролитами (7%), граувакками (2%). Ее мощность составляет 167 м. [1] Раннедатский возраст свиты определяется находками глобигерин *Globigeruna paondbulloides* Plummer; *G. microcellulos* Moroz (рис. 3).

Навагирская свита (P_1nv) сложена среднеалевроитовым (15%) слабомергелистым (32%, $CaCO_3$) среднеритмичным (40 см) тонким парафлишем (рис. 4). Представлена черно-серыми сильноалевроитистыми известковыми аргиллитами (46%) и глинистыми мергелями (35%) с прослоями алевролитов (8%), песчаников (7%) и граувакк (2%). Мощность свиты составляет 320 м.

Методика работ

Методически работа выполнялась путем замеров трещин в пределах произвольно выбранных массивов. На каждом из двух характерных обнажений грунтов выбранных свит измерялись:

- ориентация трещин (азимут падения α и угол падения β);
- истинное расстояние между трещинами l ;
- длина трещин a ;
- угол природного залегания откоса.

При измерениях учитывалась методика проведения статистической обработки, по которой количество трещин должно быть достаточным для выделения систем, развитых в пределах обнажения, но не менее 80. Также уделялось внимание условию случайности, при котором предусматривается непредсказуемость результата единичного выборочного наблюдения [3].

В результате изучение трещиноватости было выполнено на восьми обнажениях, при этом общее количество описанных трещин превысило 1900 (табл. 3).

Извлечение из полученных полевых данных максимума формализованной цифровой информации возможно лишь в случае ее статистической обработки. В нашем случае статистический анализ сводился: (1) к преобразованию информации в вид, удобный для анализа; (2) к выявлению закономерностей в массовых замерах свойств изучаемого объекта; (3) к математическому описанию выявленных закономерностей.

По результатам замеров были рассчитаны среднестатистические значения параметров трещин на обнажениях, построены диаграммы трещиноватости и выделены системы трещин. По каждой из систем была выполнена статистическая обработка параметров, и результаты были представлены характерными таблицами универсального классифицирования со средними значениями метрических данных [6].

¹ *Подсвита сукко* (P_1sk) характеризуется крупноритмичным (45 см) грубым флишем с преобладанием сильноглинистых мергелей (65%), аясков (54%) (*аяск* — двуединый слой). Представлена песчаниками (10%), алевролитами (7%), граувакками (2%) [1].

² Каждый *аяск подсвиты Сукко* — это первый плюс второй элемент циклита (I+II ЭЦ), образующий единое целое, т.е. двуединый слой. Аясками характеризуется 54% мощности данной подсвиты, остальные 46% характеризуются содержанием песчаников (10%), алевролитов (7%) и граувакк (2%) [2].



Полученные результаты

Было установлено, что свиты с крупноритмичным строением (K_2sn, P_1sk) характеризуются повышенными величинами блочности, близкими между собой (39, 40, 41). Тонко- и среднеритмичные свиты (P_1lv, K_2vs) имеют более низкие ее значения, но также близкие между собой (25, 32, 35). При этом литологический состав циклитов значения не имеет, поскольку в обеих группах присутствуют обнажения как карбонатного, так и терригенного флиша.

В целом дисперсия расстояний между трещинами напластования выше у циклитов из свит терригенного флиша, что, вероятно, можно объяснить анизотропностью свойств грунтов внутри этих свит. В их лито-

логический набор входят песчаник, аргиллит, анкерит. В то время как свиты карбонатного флиша состоят из более близких по свойствам грунтов — обломочного известняка и мергеля.

Угол природного откоса является более крутым при вертикальном залегании напластований.

В пределах каждого из обнажений была рассмотрена зависимость между дисперсией расстояний между трещинами напластования ($a_{налп}$) и углом природного откоса (рис. 5). Между данными характеристиками не прослеживается абсолютная обратная зависимость, и при плавном изменении дисперсии от обнажения к обнажению угол природного откоса может скачкообразно меняться. Данные замечания справедливы для каждой свиты.

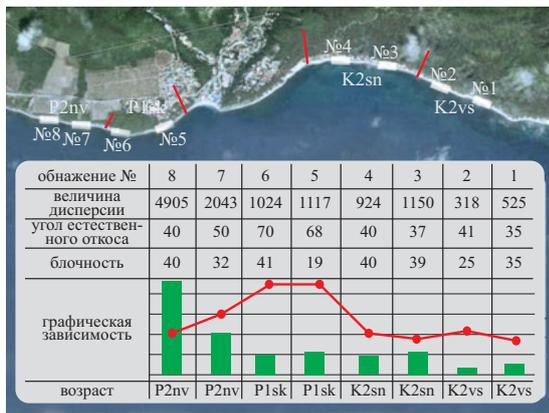
Таблица 3

Результаты замеров трещин*									
№ обнажения	Трещины	№ системы трещин	Ориентация трещин		Линейные параметры трещин				
			α , град.	β , град.	a , см	σ_a	l , м	σ_l	b , см
1	Вертикальные	I	10	78	27,8	22,7	>10,0	-	35
	Крутые	III	280	46	64,6	21,0	31,4	14,4	
	Пологие	II	170	36	23,9	20,3	82,4	41,7	
2	Вертикальные	II	218	82	24,6	16,8	21,7	10,5	25
	Крутые	I	341	49	32,3	17,8	>10,0	-	
	Пологие	III	160	35	20,6	11,6	21,2	10,7	
3	Вертикальные	II	245	88	55,5	13,8	23,8	12,0	39
	Крутые	I	342	47	37,7	33,9	>10,0	-	
	Пологие	III	153	45	27,5	13,0	47,0	11,1	
4	Вертикальные	II	258	76	55,2	13,3	26,7	11,4	40
	Крутые	I	351	46	34,4	30,4	>10,0	-	
	Пологие	-	-	-	-	-	-	-	
5	Вертикальные	I	203	85	49,6	33,4	>10,0	-	19
		II	105	76	32,8	19,3	33,4	14,2	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	IV	92	35	180,6	78,1	24,6	10,7	
6	Вертикальные	I	210	79	43,0	32,0	>10,0	-	41
		II	112	72	40,7	19,4	36,3	15,0	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	III	286	18	39,0	18,7	35,9	15,5	
7	Вертикальные	III	203	75	23,6	8,8	27,9	11,7	32
	Крутые	II	112	65	27,3	11,9	22,8	7,6	
	Пологие	I	310	26	50,2	45,2	>10,0	-	
8	Вертикальные	III	196	82	30,7	11,3	27,8	11,7	40
		II	120	76	28,6	11,2	25,9	13,3	
	Крутые	-	-	-	-	-	-	-	
	Пологие	I	319	23	72,6	70,0	>10,0	-	

* Система I — трещины напластований флишевого циклита; α — азимут падения; β — угол падения; l , σ_l — средняя длина трещин и соответствующее среднеквадратическое отклонение; a , σ_a — среднее расстояние между трещинами и соответствующее среднеквадратическое отклонение; b — средний размер блока, определяемый по формуле

$$b = \sqrt[3]{\frac{a_1 a_2 a_3}{(1 + \sqrt{\frac{a_1 a_2 a_3}{a_4}})(1 + \sqrt{\frac{a_1 a_2 a_3}{a_5}}) \dots}}$$

где a_1, a_2, a_3 — средние расстояния между трещинами для систем наиболее густо развитых трещин I, II, III соответственно; a_4, a_5, \dots — то же для систем менее густо развитых трещин [4].



Изменения дисперсии расстояний между трещинами напластования (зеленые столбики) и угла природного откоса (белые точки, соединенные красной линией) от обнажения к обнажению

Исключения, когда влияние дисперсии не всегда определяет крутизну откоса, бывают в следующих случаях:

- на участках с повышенной тектонической дислоцированностью (например, на обнажении 5);
- на обнажениях, нарушенных эрозионными промоинами вдоль линий падения склонов (например, на обнажении 3);
- на участках обнажений, на которых один из пластов песчаника (или известняка) имеет нехарактерно большую мощность по сравнению со средними значениями мощности таких пластов в данной свите (этот тезис не имеет литологической привязки к тому или иному типу флиша).

Обсуждение результатов

Для объективного решения вопроса зависимости между крутизной откоса и дисперсией расстояний между трещинами напластования использовались статистические методы проверки гипотез о равенстве числовых характеристик.

Цель изучения данных количественных характеристик (см. рис. 5) заключалась в установлении вида зависимости между дисперсией расстояний между трещи-

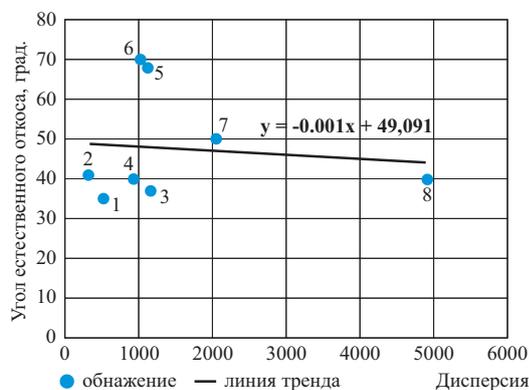


Рис. 6. Точечная диаграмма зависимости между углом естественного откоса (град.) и дисперсией расстояний между трещинами напластования (синие точки с цифрами, обозначающими номера обнажений). Прямой линией показаны результаты тренд-анализа

нами напластования и крутизной откоса. Коэффициент корреляции составил $r = -0,1$, что указывает на слабую корреляционную связь. В то же время предложение о необходимости районирования участков природных откосов является необходимым, так как высокое значение дисперсии указывает на повышенную неоднородность массива, устойчивость которого (угол природного откоса) определяется наиболее слабой составляющей.

На рисунке 6 синие точки показывают значения дисперсий и угла естественного откоса для различных обнажений. Тренд-анализ набора этих величин дал формулу прямой вида $y = -ax + b$. Данная точечная диаграмма с линией тренда приведена на рис. 6 для наглядности результатов. С точки зрения математической статистики построение линии тренда не совсем корректно ввиду слабой корреляционной связи. Данный рисунок в наиболее общем виде статистически отображает взаимосвязь указанных величин.

Полученные результаты статистически подтверждают следующее: чем больше дисперсия расстояний между трещинами напластования в циклитах флиша, тем меньше угол устойчивого природного откоса, и наоборот.

Выводы и рекомендации

1. В исследованных циклитах флиша Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа дисперсия расстояний между трещинами напластования связана с углом устойчивого природного откоса. Между этими параметрами прослеживается тренд к обратной линейной зависимости. Однако на текущей стадии исследований эти зависимости не были абсолютными. Имелся ряд исключений. При плавном изменении дисперсии от обнажения к обнажению угол природного откоса мог скачкообразно меняться.

2. При инженерно-геологическом районировании следует учитывать, что обнажения с высокой дисперсией расстояний между трещинами напластования потенциально опасны и неустойчивы.

3. Каждый участок обладает индивидуальными характеристиками напластования и должен рассматриваться локально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев С.Л. Путеводитель экскурсии 10-й международной школы морской геологии. Верхнемеловая-дзидская флишевая формация Северо-Западного Кавказа. М.: Академия наук России, 1992. С. 44.
2. Афанасьев С.Л. Флишевая формация. Закономерности строения и условия образования. М.: Росвузнаука, 1993. 360 с.
3. Каждан А.Б., Гуськов О.И. Математические методы в геологии. М.: Недра, 1990. 251 с.
4. Количко А.В. Карта максимально крутых устойчивых откосов // Тезисы докладов и сообщений 11-й Российской конференции по механике горных пород. Санкт-Петербург, 1997. С. 237–242.
5. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. С. 5–15.
6. Семенов А.Ю. Классификация трещиноватости массивов горных пород применительно к вычислению максимального угла устойчивого откоса // Материалы 6-й Международной научной конференции «Молодые — наукам о Земле». М.: РГПУ, 2012. С. 168–171.



ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ СОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ «СУПЕРГУМУСА»

FEATURES OF SORPTION CAPACITY CHANGE OF SANDY-CLAY SOILS AS A RESULT OF APPLICATION OF «SUPERHUMUS»

МАВЛЯНОВ Г.Н.

Старший научный сотрудник, изыскатель геологического факультета Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, mavlyanov_g@mail.ru

MAVLYANOV G.N.

Senior staff scientist of the geology faculty of the National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, mavlyanov_g@mail.ru

Ключевые слова:

почва; гумус; «супергумус»; сорбционная способность; нитраты; нитриты; угольные отходы.

Key words:

soil; humus; «superhumus»; sorption capacity; nitrates; nitrites; coal waste.

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований сорбционной способности песчано-глинистых грунтов и динамики изменений содержания в них азота в результате применения биопрепарата под названием «супергумус». Лабораторные эксперименты показали, что он сорбирует нитраты, существенно замедляет и уменьшает их миграцию.

Введение

Содержание гумусовых веществ является характерным генетическим и классификационным признаком для каждой почвы. Специфическими компонентами гумуса являются гумин, гуминовые кислоты и фульвокислоты. Они составляют 90% от общей массы органического вещества почвы.

Гумус является наиболее характерной и существенной частью почвы, с которой в основном связано ее плодородие. В нем сохраняются основные элементы для питания растений, в первую очередь азот. Гумус частично определяет поглотительную способность почвы и влияет на некоторые ее морфологические и физические свойства, обуславливая ее структуру.

В настоящее время острота проблемы загрязнения компонентов геологической среды на орошаемых территориях заставляет многих ученых искать новые более эффективные способы ее решения. Целью данного исследования явилось изучение сорбционной способности почвы и динамики содержания в ней азота на фоне применения биопрепарата, называемого «супергумус».

Методы и результаты исследований

Группой узбекских ученых (Ф.М. Мавляновой, Н.Г. Мавляновым, Г.Н. Мавляновым и др.) в 2005 году был разработан биопрепарат под названием «супергумус», который содержит примерно 90% отходов угольной промышленности, около 10% глинистых минералов (бентонита) и микроорганизмы-интродуценты, полезные для агробиогенеза. В результате был получен патент на изобретение № IAP 03807 «Способ получения удобрения» [3]. В этом биопрепарате содержится 5,7% гумусовых кислот, из них 3,4% гуминовых и 2,3% фульвокислот.

Объектом применения «супергумуса» явилась почва на территории Института генетики и экспериментальной биологии растений Академии наук Республики Узбекистан в Зангиотинском районе Ташкентской области. Здесь были проведены опыты на лизи-

Abstract

The paper presents research results of the sorption capacity of sandy-clay soils and the nitrogen content dynamics in them as a result of application of a biological preparation called «supergumus». Laboratory experiments have shown that it sorbs nitrates, considerably slows down and reduces their migration.

Таблица 1

Гранулометрический состав использованных в экспериментах почвы и «супергумуса», %										
Грунт	Удельный вес, г/см ³	Естественная влажность, %	Размер фракций, мм							
			1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,002	<0,002
Почва	2,67	14,1	-	-	2		34	13	13	38
«Супергумус»	2,18	26,2	3	7	14	2	37	3	4	30

метрах под руководством А.А. Баирова (Государственный научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии Узбекистана) и А.А. Кариева (НИИ генетики и экспериментальной биологии растений Академии наук Узбекистана).

Также автором данной статьи были проведены лабораторные эксперименты в узбекском институте «Гидроингео» под руководством В.Г. Ходжаева, при которых изменяли состав почвы, дозу «супергумуса» и азотного удобрения. По классификации Н.А. Качинского использованная в экспериментах почва относится к крупнопылеватым среднесуглинистым грунтам (по результатам расшифровки рентгенограмм ее глинистая составляющая представлена в основном каолинитами и гидрослюдистыми минералами), а «супергумус» — к песчаным легким крупнопылеватым суглинкам (таблица 1).

Опыты проводили в пластмассовых колонках диаметром 5,0 см и длиной 100 см.

Вначале проверили содержание азота и pH как в «супергумусе», так и в почве. Для этого в нижние части двух колонок положили по ватному тампону. Затем в первую насыпали «супергумус», а во вторую — почву. В обе колонки сверху подливали дистиллированную воду (для исключения влияния соединений азота, которые содержатся в водопроводной воде). С каждой колонки собрали по 10 фракций фильтрата объемом по 50 мл, в которых количественно определяли pH (на pH-метре), концентрацию ионов NO₃⁻ и NO₂⁻ (реактивом Грисса) и концентрацию NH₄⁺ (реактивом Несслера). Полученные результаты приведены в табл. 2. Из нее видно, что «су-

пергумус» (колонка 1) является кислым продуктом с pH = 3,5. В нем практически отсутствуют нитрат- и нитрит-ионы (NO₃⁻, NO₂⁻). Концентрация ионов аммония (NH₄⁺) уменьшилась за время фильтрации с 12,0 до 4,0 мг/л. В почве (колонка 2) в основном в небольших количествах содержатся нитрат- (10–42 мг/л) и нитрит-ионы (0,4–9,0 мг/л), ионов аммония мало (0,7–2,1 мг/л), среда слабощелочная (pH=8,10÷8,95).

Затем провели следующую серию экспериментов. Заполнили две такие же колонки почвой на высоту 50 см. В первую внесли 5 г «супергумуса» и сверху 2 г аммиачной селитры (NH₄NO₃), затем добавили еще 2 см почвы. Вторая колонка была контрольной. В нее внесли только 2 г NH₄NO₃ и 2 см почвы. Затем в обе колонки долили сверху по 250 мл дистиллированной воды и начали снизу собирать фракции фильтратов объемом по 50 мл. После отбора очередной фракции в колонки сверху доливали по 250 мл H₂O. Через почву вода проходила медленно, и первые порции фильтрата получили только на следующий день. Эксперимент проводили 14 дней. Всего получили по 4 фракции по 50 мл. В них снова определяли pH и концентрации NO₃⁻, NO₂⁻ и NH₄⁺. Полученные результаты приведены в табл. 3. Как видно из нее, в фильтрате из колонки с «супергумусом» ионов NO₃⁻ содержится меньше, чем в контрольном. «Супергумус», особенно в начальной фазе миграции нитрат-ионов, существенно сорбирует их, что положительно сказывается на уменьшении загрязнения инфильтрационной воды. Изменения концентраций NO₂⁻ и NH₄⁺ получились неоднозначными, поэтому далее не рассматривались.

Таблица 2

Концентрация соединений азота и pH во фракциях фильтратов, собранных с колонок с «супергумусом» и почвой									
Колонка 1 («супергумус»)					Колонка 2 (почва)				
№ фракции	pH	Концентрация, мг/л			№ фракции	pH	Концентрация, мг/л		
		NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺			NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺
1-1	3,5	следы	0,01	12,0	2-1	8,1	42	9,00	2,1
1-2	3,4	следы	0,01	12,0	2-2	8,2	30	6,00	2,1
1-3	3,4	следы	0,01	12,0	2-3	8,3	30	3,00	1,5
1-4	3,5	следы	0,01	12,0	2-4	8,4	24	2,00	1,2
1-5	3,5	следы	нет	7,0	2-5	8,7	24	6,00	1,2
1-6	3,4	следы	0,02	5,0	2-6	8,9	15	2,00	1,0
1-7	3,6	следы	следы	5,0	2-7	8,8	10	0,60	0,7
1-8	3,6	следы	следы	4,0	2-8	8,9	10	0,60	0,7
1-9	3,5	следы	следы	4,0	2-9	8,9	10	0,40	0,7
1-10	3,5	следы	следы	4,0	-	-	-	-	-

Таблица 3

Концентрация соединений азота и рН в различных фракциях фильтратов, собранных с колонок с почвой и аммиачной селитрой с добавлением «супергумуса» и без него											
Колонка 1 (с «супергумусом»)					Колонка 2 (контрольная — без «супергумуса»)				Уменьшение концентраций при внесении «супергумуса», %		
№ фрак.	рН	концентрация, мг/л			рН	концентрация, мг/л					
		NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺		NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺			
1	7,3	5900	30	6	7,4	9200	60	2	36	50	-200
2	8,3	4200	30	6	8,0	5900	30	6	29	0	0
3	8,4	2400	6	7	6,6	9200	12	7	74	50	0
4	8,7	2400	2	4	8,3	2700	1,5	7	11	-33	43

В следующей серии опытов был изменен состав грунта. Почву смешали с чистым песком в соотношении 1:4 (почва/песок) и заполнили полученной смесью две такие же колонки. В первую сверху добавили 10 г «супергумуса», 0,5 г аммиачной селитры и еще 2 см грунта. Во вторую, контрольную, внесли только 0,5 г NH₄NO₃ и 2 см грунта. Затем сверху доливали дистиллированную воду, так же как и в предыдущей серии экспериментов. По причине того, что исследованная смесь содержит песок, миграция воды облегчилась, и по 4 фракции фильтрата объемом по 50 мл было собрано за два дня. В них определяли рН и концентрацию NO₃⁻. Полученные результаты приведены в табл. 4. Несмотря на то что грунт содержит песок, «супергумус» и в этом случае задерживает миграцию нитрат-ионов. Особенно это заметно по первым двум фракциям фильтрата.

В производственных условиях хлопководства полив производится и без внесения удобрений. Поэтому в этой серии экспериментов после сбора 4 фракций промывку на одну неделю приостановили. Через неделю по несколько раз добавили в колонки по 200 мл воды и собрали из каждой из них еще по 4 пробы фильтрата. Из таблицы 4 видно, что нитрат-ионы вымываются более или менее равномерно, хотя в первых двух фрак-

циях фильтрата из колонки с «супергумусом» их концентрация существенно ниже.

Таким образом, «супергумус» оказывает как прямое (адсорбция загрязняющих веществ отходами угольной промышленности и бентонитом), так и косвенное (адсорбция остатков минеральных удобрений и деструкция остаточных количеств пестицидов и их метаболитов через повышение содержания в почве гумусовых веществ) влияние на состояние грунтов и подземных вод. Это и есть главное экологическое свойство «супергумуса» — способность к связыванию тяжелых металлов и остатков минеральных удобрений, к деструкции остаточных пестицидов и других загрязнителей и, таким образом, к предохранению окружающей среды, особенно почв и подземных вод, от загрязнения этими веществами.

Выводы

Лабораторные эксперименты показали, что «супергумус» сорбирует нитрат-ионы, существенно замедляет и уменьшает их миграцию.

Внесение в почву «супергумуса» приводит к интенсивной денитрификации (под которой понимается процесс разрушения азотных соединений под воздействием микроорганизмов [4]). Поэтому количество нитрат-

Таблица 4

Концентрация нитрат-ионов и рН в различных фракциях фильтратов						
Колонка 1 (смесь почвы с песком с добавлением «супергумуса»)			Колонка 2 (контрольная — смесь почвы с песком без «супергумуса»)		Уменьшение концентрации NO ₃ ⁻ после внесения «супергумуса», %	
№ фракции	рН	конц. NO ₃ ⁻ , мг/л	рН	конц. NO ₃ ⁻ , мг/л		
1	7,3	5900	7,9	12325	52	
2	7,9	1500	8,2	4200	64	
3	8,1	1000	8,2	920	-9	
4	8,2	240	8,5	420	43	
Промывка через 1 неделю						
1	8,1	42	8,3	59	29	
2	8,0	150	8,3	390	62	
3	8,3	60	8,4	60	0	
4	8,1	92	8,2	103	11	



ионов, вымытых из колонки с «супергумусом», меньше и происходит это более длительное время, что подтверждает наличие сорбирования (результаты исследований, посвященные механизму сорбции в почве с «супергумусом», будут опубликованы отдельно).

Под влиянием «супергумуса», являющегося кислым продуктом с $pH = 3,5$, среда в фильтраатах из почвы с его добавлением оказалась почти нейтральной (с $pH = 7,60 \div 8,10$), что говорит о наличии процесса подщелачивания. ☺

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 234 с.
2. Ариушикина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 243 с.
3. Мавлянов Г.Н. и др. Способ получения удобрения: патент Республики Узбекистан № IAP 03807 от 22.10.2008 г.
4. Гамзиков Г.П., Барсуков П.А. Баланс азота при длительном применении удобрений в агроценозах на дерново-подзолистой почве // Агрохимия. 1997. № 9. С. 5–10.
5. Горовая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества. Киев: Наукова думка, 1995. 304 с.
6. Гусакова Н.В. Химия окружающей среды. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. 185 с.
7. Звягинцев Д.Г., Шаповалов А.А., Пуцыкин Ю.Г., Степанов А.Л., Лысак Л.З., Буланова М.Л. Устойчивость гуминовых кислот к микробной деструкции // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2004. № 2. С. 47–52.
8. Мавлянов Н.Г., Мавлянов Э.Н. Создание «экологического щита» для защиты подземных вод от сельхоззагрязнителей // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент, 2005. № 2. С. 71–74.
9. Тейт Р. Органическое вещество почвы. М.: Мир, 1991. 400 с.
10. Ходжаев В.Г. Исследование загрязнения зоны аэрации и грунтовых вод долины реки Чирчик пестицидами и соединениями азота и обоснование водоохраных мероприятий. Ташкент: Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 1985.
11. Ходжаев В.Г. К миграции соединений азота в зоне аэрации // Агрохимия. 1983. № 6. С. 17.
12. Баиров А.Ж. Сугориладиган тупрокларда минерал ва органик угитларни табакалаштириб куллаш буйича ТАВСИЯЛАР. Узбекистон Республикаси Ер ресурслари, геодезия, картография ва давлат кадастри давлат кумитаси. Тошкент, 2005.



Журналы представлены в flash-версиях на официальном сайте Издательского центра «Геомаркетинг»:

<http://www.geomark.ru>

Некоторые номера размещены бесплатно в режиме тестового доступа, для того чтобы визуально оценить удобство электронных версий.



С 2013 года журналы «Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геориск», «Геотехника» стали доступны в электронном варианте.

Ваша компания может получить индивидуальный доступ к номерам за текущий год, а также ко всем выпускам за предыдущие годы.

Стоимость годовой электронной подписки
(два логина для доступа с двух устройств одновременно):

Инженерные изыскания: **19 320 руб.** Инженерная геология: **7 200 руб.** Геориск: **4 800 руб.**
Геотехника: **7 800 руб.** Стоимость онлайн-доступа ко всем журналам, включая архив: **39 120 руб.**

Татьяна ФЕДОТОВА
Тел./факс: +7 (495) 366-26-84
Email: pr@geomark.ru

Ольга ИСАЙКИНА
Тел./факс: +7 (495) 366-08-85
Email: pr@geomark.ru