

Название журнала	ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ				
Издательство	Геомаркетинг				
Год выпуска	2013	Том		Номер выпуска	2



	Название статьи	Страницы	Цит.
	КОЛОНКА М.И. БОГДАНОВА	4-7	0
ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ			
	ПРОФЕССОР ПАНТЕЛЕЙМОН НИКОЛАЕВИЧ ПАНЮКОВ (1908-1974) Шибакова В.С.	8-19	1
	КАФЕДРЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО УНИВЕРСИТЕТА (МГРИ-РГГУ) - 80 ЛЕТ Пендин В.В., Подборская В.О.	20-26	0
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ			
	МИГРАЦИОННЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ В ЗАПОЛЯРНОЙ ЧАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Репкина Т.Ю.	28-45	3
	ДИНАМИКА ТЕПЛОвого ПОЛЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ОТВАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУБАКА (КОЛЫМСКОЕ НАГОРЬЕ) Галанин А.А., Моторов О.В.	46-56	1
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА			
	О ПРИРОДЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ В ГОРНОМ МАССИВЕ (ОТ ЗОНАЛЬНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПОРОД ВОКРУГ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ДО ПРОВАЛОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ) Ильченко В.Л., Медведева С.Г.	58-61	0
ГРУНТОВЕДЕНИЕ			
	ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМОВЛАГОПЕРЕНОСА В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ Королев В.А., Федяева Е.А.	62-71	0
	ОСОБЕННОСТИ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛЕССОВОГО ПСЕВДОКАРСТА (НА ПРИМЕРЕ ЯВАНСКОЙ ДОЛИНЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ) Лаврусевич А.А., Захаров В.С., Хоменко В.П.	72-78	13
	ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	79	0



О РОМАНЕ ДЖОРДЖА ОРУЭЛЛА «1984» (ПРЕДИСЛОВИЕ К РЕДАКЦИОННОЙ КОЛОНКЕ)*

История создания

В письме своему издателю Фреду Уорбургу от 22 октября 1948 года Оруэлл сообщил, что первая мысль о романе возникла у него в 1943 году. Роман был написан в 1947—1948 годах и впервые опубликован 8 июня 1949 года. В 1953, 1956 и 1984 годах по нему были сняты одноимённые фильмы. К 1989 году роман был переведен более чем на 65 языков.

Персонажи

Основные персонажи

Уинстон Смит (англ. *Winston Smith*) — главный герой, 39-летний мужчина. Родился в Лондоне в 1944 или 1945 году — точную дату установить невозможно. С молодых лет работает в министерстве правды, в отделе документации: в его обязанности входит внесение изменений в документы, которые содержат факты, противоречащие партийной пропаганде. Внешне он делает вид, что является приверженцем партийных идей, тогда как в душе глубоко их ненавидит. На протяжении всего романа одет в униформу партийного работника внешней партии.

Джулия (англ. *Julia*) — девушка, влюблённая в главного героя. Ей 26 лет, у неё пышные каштановые волосы и карие глаза, тонкая талия, перетянутая красным кушаком Молодёжного Антиполового Союза. Работает в министерстве правды, в отделе литературы. Искусно притворяется яростной сторонницей партии, в то время как постоянно нарушает партийные законы.

О'Брайен (англ. *O'Brien*) — антагонист, высокопоставленный член внутренней партии. Описывается как «рослый плотный мужчина с толстой шеей и грубым насмешливым лицом». Однако при этом О'Брайен не лишён обаяния, умён, а внешность боксёра-тяжеловеса в сочетании с воспитанностью даёт странный контраст. Уинстон предполагает в нём члена подпольного Братства. На самом же деле О'Брайен является сотрудником полиции мыслей.

Эпизодические персонажи

Мистер Чаррингтон (англ. *Charrington*) — продавец лавки антиквариата, в действительности являющийся агентом полиции мыслей. Сдаёт Уинстону и Джулии комнату, позднее руководит их арестом.

Сайм (англ. *Syme*) — образованный коллега Уинстона. Один из наиболее симпатичных ему персонажей. Является филологом и работает над 11-м изданием словаря новояза. Позднее арестован полицией мыслей и распылён.

Парсонс (англ. *Parsons*) — сосед и коллега Уинстона. Описывается как толстый, активный мужчина лет 35, от которого всегда пахнет потом. Уинстон и Сайм не очень его любят. Он является идеальным членом партии — энергичен, работоспособен, не склонен к рассуждениям, беспрекословно верит всему, чему учит партия. Является главным активистом туристических походов и партийных акций. Навероятно глуп, но добродушен; очень любит детей. Позднее был арестован полицией мыслей по наводке своей дочери.

Амплфорт (англ. *Ampleforth*) — коллега Уинстона, сотрудник министерства правды. Описывается как высокий, нескладный человек с ушами, покрытыми шерстью. По специализации — поэт, считается одним из лучших специалистов по рифмам и так называемым «каноническим текстам» (то есть переводам поэтических произведений с классического английского языка на новояз). В третьей части романа оказывается в камере предварительного заключения вместе с Уинстоном, после чего исчезает в «комнате 101».

Персонажи, упоминаемые в романе, но не участвующие в его событиях

Старший Брат (другой, менее точный вариант перевода — **Большой Брат**) (англ. *Big Brother*) — единоличный лидер партии. Изображается как черноусый мужчина средних лет. Утверждение единоличной власти Старшего Брата началось в 1960 году, с этого времени началось истребление руководителей партии, непосредственно участвовавших в революции; этот процесс завершился в начале 1970-х годов. Возможно, Старший Брат не существовал в реальности и является вымышленным лицом. Пробразом Старшего Брата, возможно, послужил Сталин.

Эммануэль Голдстейн (англ. *Emmanuel Goldstein*) — враг государства № 1. Когда-то он был одним из вождей революции, но позднее, по официальной версии партии, предал её и бежал за границу. В Океании считается, что он создал тайное Братство, целью которого является борьба с партией. Считается номинальным автором книги «Теория и практика олигархического коллективизма» (хотя из слов О'Брайена, возможно, следует, что книга сфабрикована идеологами внутренней партии для облегчения процесса выявления и отлова инакомыслящих). Пробразом Голдстейна послужил Лев Троцкий.

Кэтрин (англ. *Katharine*) — формально жена Уинстона, фактически разведена с ним и фигурирует только в воспоминаниях главного героя. Описывается как высокая блондинка с благородным профилем; однако, при своей внешней привлекательности она, по словам Уинстона, — «самое глупое существо», с которым когда-либо он был знаком. Глубоко предана партийным идеям, испытывала огромное отвращение к сексу, но еженедельно требовала от Уинстона «исполнения партийного долга» для зачатия ребёнка. После серии неудачных попыток забеременеть покинула Уинстона.

Джонс (англ. *Jones*), **Аронсон** (англ. *Aaronson*) и **Резерфорд** (англ. *Rutherford*) — бывшие высокопоставленные члены внутренней партии. Они были первоначальными лидерами революции, однако позднее обвинены в предательстве революции и арестованы. Под пытками они сознались во всех преступлениях, в которых их обвиняла партия, были помилованы, временно освобождены, однако потом почти сразу повторно осуждены и расстреляны. Пробразом Аронсона стал, вероятно, Григорий Зиновьев, чье настоящее отчество — Аронович, а прообразом Резерфорда — Лев Каменев (настоящая фамилия которого — Розенфельд).

* Материалы из википедии: [http://ru.wikipedia.org/wiki/1984_\(%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/1984_(%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD))



Сюжет

Главный герой — Уинстон Смит — живёт в Лондоне, работает в министерстве правды и является членом внешней партии. Он не разделяет партийные лозунги и идеологию и в глубине души сильно сомневается в партии, окружающей действительности и вообще во всём том, в чём только можно сомневаться. Чтобы «выпустить пар» и не сделать безрассудный поступок, он покупает дневник, в котором старается излагать все свои сомнения. На людях же он старается притворяться приверженцем партийных идей. Однако он опасается, что девушка Джулия, работающая в том же министерстве, шпионит за ним и хочет разоблачить его. В то же время он полагает, что высокопоставленный сотрудник их министерства, член внутренней партии некий О'Брайен также не разделяет мнения партии и является подпольным революционером.

Однажды оказавшись в районе пролов (пролетариев), где члену партии появляться нежелательно, он заходит в лавку старьевщика Чаррингтона. Тот показывает ему комнату наверху, и Уинстон мечтает пожить там хотя бы недельку. На обратном пути ему встречается Джулия. Смит понимает, что она следила за ним, и приходит в ужас. Он колеблется между желанием убить её и страхом. Однако побеждает страх и он не решается догнать и убить Джулию. Вскоре Джулия в министерстве передаёт ему записку, в которой она признаётся ему в любви. У них завязывается роман, они несколько раз в месяц устраивают свидания, но Уинстона не покидает мысль, что они уже покойники (свободные любовные отношения между мужчиной и женщиной, являющиеся членами партии, запрещены партией). Они снимают комнатку у Чаррингтона, которая становится местом их регулярных встреч. Уинстон и Джулия решаются на безумный поступок и идут к О'Брайену и просят, чтобы он принял их в подпольное Братство, хотя сами лишь предполагают, что он в нём состоит. О'Брайен их принимает и даёт им книгу, написанную врагом государства Голдстейном.

Через некоторое время их арестовывают в комнатке у мистера Чаррингтона, так как этот милый старик оказался сотрудником полиции. В министерстве любви Уинстона долго обрабатывают. Главным палачом, к удивлению Смита, оказывается О'Брайен. Сначала Уинстон пытается бороться и не отречься от себя. Однако от постоянных физических и психических мучений он постепенно отрывается от себя, от своих взглядов, надеясь отречься от них разумом, но не душой. Он отрывается от всего, кроме своей любви к Джулии. Однако и эту любовь ломает О'Брайен. Уинстон отрывается, предаёт её, думая, что он предал её на словах, разумом, от страха. Однако когда он уже «излечен» от революционных настроений и на свободе, сидя в кафе и попивая джин, он понимает, что в тот момент, когда отрёкся от неё разумом, он отрёкся от неё полностью. Он предал свою любовь. В это время по радио передают сообщение о победе войск Океании над армией Евразии, после чего Уинстон понимает, что теперь он полностью излечился. Теперь он действительно любит партию, любит Старшего Брата...

Название

Рабочее название романа, над написанием которого Оруэлл работал на протяжении 1940-х годов, звучало как «Последний человек в Европе» (англ. «*The Last Man in Europe*»). Известно,

что издатель книги Фредерик Варбург настаивал на смене названия для повышения интереса потенциальных читателей. Причины, по которым автор остановился на названии «1984», до конца не ясны. Наиболее распространённым является мнение, что год действия романа избран простой перестановкой последних двух цифр года публикации романа — 1948.

Прообразы

В своём эссе «Почему я пишу» (1946), Оруэлл настаивал на том, что все его произведения, начиная с периода Гражданской войны в Испании, были «прямо или косвенно против тоталитаризма и за демократический социализм, как я его понимал».

Во многих отношениях роман является продолжением предыдущих произведений Джорджа Оруэлла — в некоторой степени мемуаров о Гражданской войне в Испании «Памяти Каталонии» и особенно повести «Скотный двор». В «1984» продолжены основные мотивы «Скотного двора» — преданная революция, опасность ограничения личных свобод, авторитарная бонапартистская диктатура, эксплуатирующая погрязшие ей же достижения революции, — а также вводится образ, соответствующий Льву Троцкому (Снежок в «Скотном дворе», Голдстейн в «1984»).

Книга была написана в 1949 году. В ней изображена тоталитарная система, пришедшая на смену капитализму. При этом новое общество полностью отрицает свободу и автономии личности. Для него характерны: мобилизация всех сил для реализации глобальной цели; концентрация власти в руках одной партии, направляемой вождём; безраздельная монополия на средства коммуникации; считаемая единственно верной идеология; полный контроль за общественной и частной жизнью; жестокое насилие в отношении всех инакомыслящих и несогласных; постоянные поиски врагов, с которыми ведётся непримиримая война; материальная нищета и всеобщий страх.

Сам Оруэлл, незадолго до смерти, писал:

Мой роман не направлен против социализма или британской лейбористской партии (я за неё голосую), но против тех извращений централизованной экономики, которыми она подвержена и которые уже частично реализованы в коммунизме и фашизме. Я не убеждён, что общество такого рода обязательно должно возникнуть, но я убеждён (учитывая, разумеется, что моя книга — сатира), что нечто в этом роде может быть. Я убеждён также, что тоталитарная идея живёт в сознании интеллектуалов везде, и я попытался проследить эту идею до логического конца. Действие книги я поместил в Англию, чтобы подчеркнуть, что англоязычные нации ничем не лучше других и что тоталитаризм, если с ним не бороться, может победить повсюду.





«БОЛЬШОЙ БРАТ» И ЦИФРОВОЕ СЕГОДНЯ

Технологическое развитие человечества происходит настолько стремительно, что мы с каждым днем все меньше удивляемся его новым, вчера еще невообразимым, достижениям. В конце восьмидесятых годов высочайшим технологическим достижением казалась передача картинка по факсу. Сегодня мы уже воспринимаем как нечто обыденное, когда люди общаются в видеорежиме по телефону. Мир вокруг нас стал цифровым, и мы становимся его частью. Современные цифровые технологии существуют везде. Они многое нам дают, но при этом разрушают наше право на «свой» мир в рамках «большого» мира. Мы становимся частью этого большого мира, теряя при этом, независимо от наших желаний, право на защиту своей информации. Держа в руке сотовый телефон или находясь рядом со своим включенным компьютером, подключенным к Интернету, каждый из нас может неожиданно для себя оказаться в большой или не очень большой компании посторонних людей, слушающих наше общение по телефону и наблюдающих за нами через видеоканал нашего компьютера. Это не день завтрашний. Это день сегодняшний. Это происходит уже сейчас. Приходящие к нам SMS могут быть отправлены не тем, кто указан как отправитель. SMS могут не дойти или дойти до получателя с текстом, который был изменен. Звонки могут фильтроваться на коммутаторе оператора, речь при телефонном разговоре автоматически проверяться на наличие определенных слов и, при их обнаружении, записываться. В наше время, если у человека есть сотовый телефон, он может быть найден практически везде. Если он заменит сим-карту, его телефон все равно будет передавать в сеть свой уникальный номер. Если человек выкинет сим-карту и сам телефон, в которую она была вставлена, но при этом носит с собой другой включенный телефон, по которому он еще даже не сделал ни одного звонка — он может быть вычислен по одновременному нахождению этих телефонов около одних и тех же станций базовой связи.

Тайна частной жизни перестала существовать. Еще недавно люди, которые хотели поговорить на расстоянии друг с другом наедине, могли пообщаться, используя телекоммуникационную программу Скайп. Прошло несколько лет, и сегодня только уж очень наивный человек будет предполагать, что Скайп до сих пор не имеет выделенного закрытого доступа для основных спецслужб основных государств.

В английском языке есть слово «privacy», означающее право человека на свой личный мир. Этот личный мир у современного человека перестает существовать...

Государства защищают свое право знать о людях все, что им, по их мнению, необходимо знать. Шифрование в классическом виде давно перестало быть препятствием для доступа к информации. Во времена Римской империи текст шифровали примитивно, используя вместо одной буквы другую, идущую за ней по алфавиту. Во времена Второй мировой войны американскими моряками иногда использовалось такое необычное шифрование, как общение в открытом эфире на родном языке шифровальщика (правда, в качестве шифровальщиков использовались только индейцы племени навахо, жи-

вущего в Аризоне — их язык не использовался вне резервации). Теперь шифрование стало цифровым. В шифровании произошел переход от парных симметричных ключей (оба пользователя используют один ключ) к ассиметричным (используются два ключа, один только для шифрования, и другой только для расшифровки). Шифрование стало частью ежедневной жизни миллионов — мы с вами используем шифрование каждый день, работая на компьютере в интернете, оплачивая покупки кредитными карточками, общаясь по телефону.

Прогресс цифрового мира ощущается во всем вокруг нас. Потеря права на частную жизнь, во многом связанная с развитием цифровых технологий — это только один из многочисленных примеров масштабных изменений. Уже телевизоры могут вести видеонаблюдение за зрителем...

В цифровых технологиях сегодня много положительного. Но не всегда «цифровизация» одинаково быстро развивается во всех направлениях деятельности человека, не всегда так быстро, как в растущем мире «Большого брата».

В инженерных изысканиях эта «цифровизация» запаздывает. Мы не создаем «цифровые технологии» инженерных изысканий. Мы действительно используем цифровые технологии при выполнении инженерно-геодезических изысканий. Инженерно-геологические, инженерно-экологические, инженерно-гидрометеорологические изыскания у нас отстают. Казалось бы, ничего сложного. Зная какое здание или сооружение проектируется, и имея на основании карт различного масштаба информацию о природных условиях, ничего не мешает нам с помощью программ получать рекомендуемые виды и объемы работ, и, на основании этих сведений, сметы на выполнение изысканий и планы-графики выполнения работ. Затем, фиксируя информацию в полевых условиях согласно стандартной цифровой легенде, сохраняя в цифровом виде информацию об отобранных образцах и получая результаты лабораторных исследований в цифровом виде, мы можем сразу получать предварительный вариант отчета. Отчет, при подготовке которого все действия изыскателя имеют поддержку в виде автоматически создаваемых рекомендаций, с технологией автоматизированного накопления и обработки информации. Это будущее инженерных изысканий. Для создания такой системы в нашей стране нужна или воля органов государственной власти, или стремление какой-либо крупной компании, естественных монополистов или олигархов. Ну или действия профессионального сообщества изыскателей. При том, насколько активно, по моему мнению, Национальное объединение изыскателей разрушает даже существовавшую ранее нормативную базу инженерных изысканий, упиваясь тем, что «якобы саморегулирование» состоялось, шансы на реализацию этих планов через «профессиональное сообщество» в обозримом будущем не очень велики. Что ж, будем ждать инициатив чиновников, монополистов и олигархов... На примере уничтоженного права на частную жизнь понимая, что цифровая революция уже 011001001001 наступила. ☹

М.И. Богданов



Эксперимент, проведенный Wall Street Journal в 2010 году, показал, что 50 самых популярных сайтов Америки установили от своего имени на тестовый компьютер 3180 файлов-шпионов (уже упомянутые нами «печеньки» и их младшие продвинутые братья «биконы», или «маячки»), записывающих за безмятежными пользователями в буквальном смысле все. Лишь менее трети файлов имели отношение к работе самих сайтов — фиксировали пароли, запоминали предпочитаемый раздел, чтобы с него начать в следующий раз, и так далее. Остальные существовали лишь для того, чтобы побольше узнать о конкретном посетителе и подороже продать собранные о нем сведения. Единственным сайтом, который не установил ни одной неприятной программки, оказалась «Википедия».

<http://www.computerbild.ru/content/1347531529/kto-kak-i-zachem-sledit-za-vami-cherez-internet>

Джонатан Бэмфорд, специалист по охране личных данных: «Некоторые исследователи предполагают, что в Великобритании 4 миллиона 200 тысяч камер наблюдения. Я считаю, что чуть меньше — 3 миллиона 100 тысяч. Вывод: за нами постоянно наблюдают, мы составляем досье на самих себя, просто выходя на улицу, пользуясь телефоном, банкоматом, покупая что-нибудь в Интернете».

<http://www.1tv.ru/news/techno/169430>

Стив Рамбам, частный детектив: «А сейчас я покажу вам вашего личного, приставленного только к вам шпиона. Это ваш мобильный телефон. Он докладывает каждую секунду, где вы находитесь — дома, на работе, у жены или подружки, или банк грабите. Что бы вы ни делали — он с вами, он знает о вас все — с кем вы, где вы, спите или спортом занимаетесь, кто вам пишет, что вы читаете, какой фильм хотите посмотреть. Дайте мне ваш мобильный — и я прочту все ваши мысли».

Нужно только, чтобы аппарат был включен, а дальше человек превращается в точку на карте. Выяснить, где он сейчас — лишь дело техники. С помощью передающих станций сотовой сети запросто вычисляется местоположение аппарата и его владельца.

<http://www.1tv.ru/news/techno/169430>

Недавнее исследование ReVuln показало, что «Смарт-ТВ» компании Samsung можно настроить так, что они будут вести себя как шпионы. Хакеру всего лишь нужно установить небольшой вредоносный код, который позволит не только удаленно переключать ТВ-каналы, но также даст ему доступ к USB порту и подключенному (если он подключен, конечно) к нему жесткому диску или флэшке, а также следить за вами с помощью встроенной в телевизор веб-камеры и микрофона.

<http://www.hi-news.ru/tv/smart-televizory-samsung-za-vami-sledyat.html>

«В мобильные устройства Apple, а также в смартфоны и планшетики на конкурирующих платформах встроено ПО, собирающее и анализирующее информацию о пользователе, его передвижениях, с возможным подключением фото и видеокamеры и считыванием изображений, и отсылающее всю собранную информацию компании-производителю. По сути это троянская программа, поскольку ее наличие нигде не декларировано, нет ни иконки, ни каких-либо других обозначений ее присутствия в мобильном устройстве», — сообщила Касперская в интервью CNews, сославшись на известные ей исследования.

http://hitech.mail.ru/news/misc/iphone_ipad_spy.html

Назвать компьютер «персональным» у жителей Германии теперь язык не повернется: в ПК граждан немецкая полиция чувствуют себя как дома. По словам хакеров, при помощи троянского вируса власти могут следить за всеми действиями интернет-пользователей, записывать их разговоры по Skype и при желании даже подбрасывать улики.

Немецкие хакеры из группы Chaos Computer Club заявили, что взломали правительственную шпионскую программу «Троян R2D2». Этот вирус, получивший в народе прозвище «бундестроян», проникает в компьютеры граждан Германии, дабы отслеживать команды интернет-браузера, а также общение через Skype, электронную почту и чаты. Кроме того, при его помощи можно фиксировать все, что печатается на клавиатуре, просматривать файлы на жестком диске и даже удаленно управлять ими.

<http://germania-online.ru/politika/politika-detaj/datum/2012/07/30/bundestrojan-sledit-za-toi.html>

Охранная компания ReVuln опубликовала видеозапись, на которой показано, как программисты фирмы без труда взломали систему безопасности телевизора Samsung и получили доступ к его настройкам, виджетам и дистанционному управлению. Хакеры также смогли контролировать встроенную в дисплее камеру и микрофон и спокойно наблюдать за владельцами техники, причем последние этого даже не заметили.

<http://www.obzorseti.com/2012/12/samsung-smart-tv.html>

Более того, несмотря на заявленную анонимность cookies, даже сами маркетологи признают, что классификация пользователей, то есть нас с вами, дошла до совершенства. Нужны все обладатели Safari 25–35 летнего возраста, мужского пола, с карточкой в Citibank, закончившие МАИ, неженатые, страдающие близорукостью, носящие длинные волосы, фанаты сериала Star Wars и группы Nickelback, с годовым доходом \$50–100 тысяч, частые посетители клуба Rolling Stone, проживающие у метро Новогиреево? Пожалуйста, вот эти три человека.

<http://www.computerbild.ru/content/1347531529/kto-kak-i-zachem-sledit-za-vami-cherez-internet>

По-настоящему эффективного противодействия ни американцы, ни британцы организовать кибершпионаж не могут. Факт остаётся фактом: можно сколько угодно развивать систему ПРО и наращивать военный контингент, но при этом оставаться незащищёнными от сетевых войн. Причём лишь одна кибер-атака на секретные информационные массивы может нанести гораздо больший вред, чем деятельность десятков шпионов, работающих старыми методами.

<http://argumenti.ru/espionage/n318/142497>

Дэвид Пэтреус, до недавнего времени занимавший должность директора ЦРУ, уже заявил, что органы власти используют все возможности для целенаправленного подключения к телевизорам Smart TV и другим устройствам подозрительных лиц.

<http://www.chip.ua/stati/go-digital/2013/02/mozhet-li-smart-tv-sledit-za-vami>



http://m.chip.ua/images/2013/02/22/copy2_of_21.jpg/image_preview

ПРОФЕССОР ПАНТЕЛЕЙМОН НИКОЛАЕВИЧ ПАНЮКОВ (1908–1974)

PROFESSOR PANTLEYMON NIKOLAEVICH PANYUKOV (1908–1974)

ШИБАКОВА В.С.

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

SHIBAKOVA V.S.

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

Ключевые слова:

инженерная геология; профессор П.Н. Панюков; Научный совет АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии.

Key words:

engineering geology; professor P.N. Panyukov; Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology.

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 члену совета и заместителю его председателя — профессору Пантелеймону Николаевичу Панюкову (1908–1974).

Abstract

The publication continues the series of V.S. Shibakova's articles about the Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology and about the scientists who were associated with it. The paper is devoted to professor Pantleymon Nikolayevich Panyukov who was a member of the council and its deputy chairman.



Рис. 1. Профессор Пантелеймон Николаевич Панюков

Пантелеймон Николаевич Панюков активно работал в Научном совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (позднее — и гидрогеологии) с 1966 по 1974 г. Именно П.Н. Панюкову председатель совета Е.М. Сергеев предложил быть своим заместителем на важном начальном этапе организации деятельности совета, когда определялись направления его работы и выработывалась его структура. Как известно, Е.М. Сергеев умел подбирать кадры, и в этом случае его выбор тоже был весьма оправданным.

П.Н. Панюков в это время занимал должность заведующего кафедрой геологии в Московском горном институте, был активно вовлечен в педагогический процесс и одновременно был широко известным ученым, который пришел в науку из производственной органи-



зации: за его плечами был огромный профессиональный опыт, который обеспечивал ему знание и понимание позиций, занимаемых инженерной геологией в ряде производственных отраслей страны. И это оказалось очень востребованным в работе совета.

Пантелеймон Николаевич ушел из жизни в расцвете своей творческой деятельности 17 февраля 1974 г., но он успел внести свой вклад в развитие инженерной геологии как фундаментальной науки и системы ее преподавания в вузах. П.Н. Панюкова помнят и любят его ученики и соратники, хотя прошло уже почти 40 лет с его кончины. Его идеи развиваются в новом разделе геологических знаний — горнопромышленной геологии [1].

Моя работа с П.Н. Панюковым началась в 1968 г. — сначала при подготовке к Первому конгрессу Международной ассоциации по инженерной геологии (МА-ИГ) в Париже в 1970 г., а затем по всем важным вопросам деятельности Научного совета. Хотелось бы донести до нового поколения инженеров-геологов информацию о жизни и работе П.Н. Панюкова как ученого, педагога и замечательного человека.

При знакомстве с работами П.Н. Панюкова сразу же обращаешь внимание на две особенности — на его весьма рано проявившуюся способность мыслить о крупных задачах науки в масштабах всей страны и на широкий диапазон его научных интересов, охватывающих различные разделы инженерной геологии, гидрогеологии и смежных наук.

Обратимся к некоторым страницам биографии Пантелеймона Николаевича. Он родился 4 июля 1908 г. в большой крестьянской семье православных коми в селе Нёбдино Усть-Куломского уезда Вологодской губернии на северных просторах Российской империи (на территории, которая позднее стала Автономной Республикой Коми в составе СССР) и был шестым ребенком из десяти. Родным языком П.Н. Панюкова был язык коми. Его отец Николай Иванович Панюков хорошо владел русским языком, был грамотным, работал писарем при сельской церкви и стремился к тому, чтобы все его дети получили хорошее образование. И они оправдали эти надежды, получив образование сначала в Нёбдинском земском училище, а затем в Усть-Сысольском городском училище.

Когда Пантелеймон начал учиться, для него самым ярким примером являлся старший брат Владимир, который был первым учеником земского училища, окончил его с похвальным листом и был удостоен уездной стипендии, позволившей ему затем окончить Усть-Сысольскую гимназию (в 1914 г.). В 1915 г., будучи мобилизованным в армию в связи с началом Первой мировой войны, Владимир окончил Петергофскую школу прапорщиков и получил младшее офицерское звание поручика Российской армии. Забегая вперед, хотелось бы отметить, что в 1935 г. Владимир Николаевич Панюков получил один из высших чинов РККА (Рабоче-крестьянской Красной армии) — он был удостоен командирского звания «комбриг».

Пантелеймон, так же как и его старшие братья Владимир, Василий, Яков и сестры Мария и Клавдия, окончил в родном селе Нёбдинское земское училище, а затем уехал учиться в педагогический техникум в город Усть-Сысольск (с 1926 г. — г. Сыктывкар), однако



Рис. 2. Семья Панюковых. Сидят на полу (слева направо): Пантелеймон, Иван, Клавдия; сидят на стульях (взрослые слева направо): Николай (отец), Иван (дедушка), бабушка, Матрена (мать); стоят (слева направо): родственник, Владимир, Василий, Яков, Мария (с. Нёбдино Усть-Куломского уезда, лето 1914 г.)



Рис. 3. Дом Панюковых, реквизированный при раскулачивании семьи. Надпись на обороте: «Пантелеймону Николаевичу на воспоминание о родном доме. У окна рябина, посаженная Вами. Миша. 26 ноября 1948. С. Нёбдино»



Рис. 4. Семья Панюковых в г. Ленинграде. Сидят (слева направо): сестра Мария, брат Владимир со своим сыном Владимиром, жена Владимира; стоят (слева направо): муж Марии Александр Белявский, Василий, Пантелеймон (г. Пушкин, лето 1927 г.)



Рис. 5. Студенты 2-го курса Горного института у входа в Геологический музей. Пантелеймон Панюков сидит вторым справа во втором ряду (г. Ленинград, 1928 г.)



Рис. 6. Пантелеймон Николаевич со своей матерью Матреной Дмитриевной (г. Ленинград, 1930 г.)



Рис. 7. Портрет П.Н. Панюкова, выполненный карандашом его другом И.Б. Плешаковым. Надпись, сделанная рукой П.Н. Панюкова на обороте: «Первые дни после выхода из больницы я лежал после операции» (г. Ленинград, май 1931 г.)

стать учителем ему не довелось — помешала начавшаяся в стране коллективизация, сопровождавшаяся обобществлением индивидуальных крестьянских хозяйств. Семью Панюковых раскулачили — отобрали их дом и хозяйство. Лишенные средств к существованию, Панюковы-родители вместе с младшими детьми покинули родные края и поехали в г. Ленинград к своему старшему сыну Владимиру, возлагая на него все свои надежды, поскольку он, пройдя Первую мировую и Гражданскую войны, в то время имел высокий чин командира РККА. И Владимир Николаевич помог своей семье устроиться в Ленинграде.

Пантелеймон поступил учиться в Ленинградский университет, но вскоре ушел из него и стал студентом Горного института. В семье Панюковых помнили, что, еще будучи малым ребенком, Пантелеймон любил бродить по берегам родной реки Небью, подолгу смотреть на склоны и обрывы и собирать камни. Наверное, любовь к геологии у Пантелеймона Николаевича была от Бога.

П.Н. Панюков окончил Ленинградский горный институт в 1930 г. по специальности «инженер-гидрогеолог». В 1931 г., будучи еще молодым специалистом, он выступил на Первом Всесоюзном съезде гидрогеологов с докладом на тему «Гидрогеология, ее предмет, метод и задачи в эпоху социалистического строительства». В этом докладе он обосновал свое понимание роли гидрогеологии как научной дисциплины при освоении недр и возведении различных инженерных объектов.

Инженерная деятельность Пантелеймона Николаевича началась в Центральном научно-исследовательском геологоразведочном институте (ЦНИГРИ, позже — ВСЕГЕИ) в г. Ленинграде. В 1932 г. была опубликована работа П.Н. Панюкова «Предмет, методы и задачи инженерной геологии», в которой он изложил свое понимание изучения геологических условий при строительстве горных предприятий и инженерных сооружений.

В 1931 г. П.Н. Панюков получил в экспедиции травму позвоночника, перенес тяжелую операцию и был признан негодным к военной службе. В 1937 г. он перешел на работу в Московское геологическое управление, и вся его дальнейшая жизнь была связана с г. Москвой. Начались его работы с проведением полевых инженерно-геологических исследований, обобщением и интерпретацией результатов для территории г. Москвы и отдельных регионов страны. В своих публикациях того периода П.Н. Панюков обращался к следующим вопросам: составление инженерно-геологических карт, постановка инженерно-геологических исследований в Московском геологическом тресте, характеристика покровных суглинков, инженерно-геологическая характеристика территорий, о зональности геотехнических свойств горных пород, инженерно-геологические исследования на стадии детального проекта планировки и застройки районов первой очереди, инженерно-геологические исследования для обоснования проектов отдельных зданий и сооружений, полевые испытания и исследования грунтов [1]. В 1943 г. Пантелеймон Николаевич защитил кандидатскую диссертацию на тему «Инженерно-геологические особенности центральных областей ев-



Рис. 8. Брат П.Н. Панюкова — комбриг Владимир Николаевич Панюков



Рис. 10. П.Н. Панюков на Крайнем Севере во время Великой Отечественной войны

ропейской части СССР». Ценный фактический материал, содержащийся в трудах П.Н. Панюкова, использовался проектными организациями при реконструкции г. Москвы и застройке новых районов.

Во время Великой Отечественной войны Пантелеймон Николаевич участвовал в работах по составлению комплексных инженерно-геологических карт в северных районах страны для научно-технического обеспечения Советской армии, работал на острове Новая Земля. После освобождения территории Подмоскownого угольного бассейна П.Н. Панюков был направлен на восстановление разрушенных войной горнодобывающих предприятий, а именно на проведение инженерно-геологических изысканий и составление проектной геологической документации в данном регионе.

После войны П.Н. Панюков занимал пост главного инженера проекта Московского геологического управления и руководил работами по инженерно-геологическому картированию центральных областей европейской части СССР. В 1949 г. он получил должность до-

цента кафедры геологии Московского горного института (МГИ) и возможность передавать свой накопленный опыт студентам. Но и его научно-исследовательская работа не прекращалась, масштаб ее даже увеличивался. В то время был опубликован ряд работ П.Н. Панюкова по горно-рудничной геологии и инженерной геологии массивов горных пород, в которых в основном были рассмотрены следующие вопросы: теория и методика изучения оползней, особенности оползней угольных разрезов, важнейшие задачи геологических исследований при разведке месторождений полезных ископаемых, природа и характер естественного напряженного состояния массивов горных пород, общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв, массивы горных пород как основные объекты инженерно-геологических исследований, осушение как средство упрочнения породного массива в условиях карьерных работ, механизмы упрочнения горных пород в процессе осушения месторождений полезных ископаемых, инженерная геология глубинных зон



Рис. 9. П.Н. Панюков во время Великой Отечественной войны работал на Крайнем Севере для научно-технического обеспечения Советской армии (крайний справа)



Рис. 11. Полевой быт экспедиций на Курской магнитной аномалии, куда П.Н. Панюков выезжал ежегодно



Рис. 12. Профессор П.Н. Панюков принимает экзамен в МГИ (Москва, 1950-е гг.)



Рис. 13. П.Н. Панюков и Е.М. Сергеев в момент совместной работы в Научном совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (г. Москва, МГУ, май 1967 г., фото В.И. Васильева)



Рис. 14. С юбилеем П.Н. Панюкова поздравляет ректор МГИ В.В. Ржевский (г. Москва, МГИ, 4 июля 1968 г.)

земной коры, теория и методика инженерно-геологических исследований месторождений полезных ископаемых, геомеханика отвалных работ на карьерах [1].

Пантелеймон Николаевич явился основоположником нового раздела инженерной геологии — «инженерной геологии массива горных пород». Под массивом пород он понимал структурно обособленную часть земной коры в сфере инженерной деятельности людей. Он писал следующее: «Горные породы и их толщи, составляющие массивы, являются средой производства работ и размещения подземных сооружений — горных выработок. Массив горных пород поэтому здесь выступает как основной элемент конструкции самих сооружений. Надежность последних и совокупность мероприятий по поддержанию их в работоспособном состоянии зависит от «конструктивных» (т.е. геолого-структурных) особенностей массива пород... Горно-геологические явления представляют собой совокупный результат работы единой системы «массив пород — горные выработки». Поэтому она (задача по поддержанию надежности горных выработок. — *Авт.*) в равной мере является инженерно-геологической и горнотехнической задачей... Конечной задачей структурно-геологических исследований следует считать построение структурно-геологической модели месторождения. Геолого-структурный анализ месторождения служит основой для решения основных задач инженерно-геологических исследований, в том числе оценки геодинамического состояния массива месторождения, выяснения некоторых закономерностей изменения характеристик горных пород и в конечном счете для решения фундаментальных вопросов проектирования горного предприятия и обоснования горнотехнических параметров, в том числе для определения допустимых размеров выемочных полей-панелей, порядка отработки месторождения и многих других вопросов... Получили широкое развитие исследования естественного напряженного состояния горных пород с помощью модификаций метода разгрузки, геофизических методов и геологических наблюдений. Вместе с этим возрастает потребность во все более широком внедрении методов структурного анализа и инженерно-геологического картирования на современном горнотехническом уровне с использованием математических (в том числе горно-геометрических) методов обобщения геологической и геофизической информации» [3].

Вот оценка, данная учениками П.Н. Панюкова его вышеупомянутым работам: «Панюков вводит понятие «массив горных пород» в инженерную геологию и (что особенно важно) в учебную литературу и определяет дальнейшее развитие инженерно-геологических знаний в горном деле как органически связанное с исследованиями свойств горных пород, а также особенностями массивов горных пород, вмещающих залежи полезных ископаемых. Ему удалось обосновать теоретически и сформулировать в научной инженерно-геологической литературе фактическое назначение инженерно-геологических изысканий, а также множество других аспектов инженерно-геологической обстановки строительства и эксплуатации горных предприятий. В упомянутых (написанных на темы, перечисленные в данной статье выше [1]. — *Авт.*) работах заложены



Рис. 15. Юбилей П.Н. Панюкова. Юбиляра поздравляет проректор МГУ Е.М. Сергеев



Рис. 16. Ведущие специалисты и ученые страны в зале заседаний в день юбилея П.Н. Панюкова, в т.ч. один из крупнейших инженеров-геологов страны И.В. Попов (в центре во втором ряду)

основы оформившегося в последние десятилетия нового раздела геологических знаний горнопромышленной геологии».

Свой запас научных знаний Пантелеймон Николаевич реализовал также в МГИ как педагог. Его педаго-

гическая деятельность успешно развивалась. После защиты докторской диссертации в 1955 г. на тему «Вопросы инженерной геологии открытых разработок угольных месторождений» он занял должность профессора и возглавил кафедру геологии и маркшейдерского дела, а затем с 1964 по 1974 г. (до конца своей жизни) являлся заведующим кафедрой геологии МГИ.

Большое внимание П.Н. Панюков уделял изданию учебной литературы для студентов: в 1958 и 1968 гг. вышли в свет его учебники по курсу общей геологии. В течение нескольких лет он читал студентам МГИ лекции по курсу «Инженерная геология», на основе которых было написано учебное пособие для горных институтов страны — «Краткий курс инженерной геологии» (1955 г.). Дополненное новейшими сведениями о достижениях отечественной и зарубежной горной практики, это пособие послужило основой для учебника «Инженерная геология» (1962 г.) [2], который получил признание не только в нашей стране, но и за рубежом: в 1965 г. он был издан в Югославии, а в 1975 г. данная книга была выпущена издательством «Мир» на испанском языке. В 1978 г. издательство «Недра» опубликовало новое издание этого учебника, работу над которым после смерти учителя завершили его ученики А.М. Гальперин и В.С. Зайцев.

Пантелеймоном Николаевичем было основано новое направление в исследованиях строения и свойств горных пород как объектов инженерных воздействий,



Рис. 17. Юбилей П.Н. Панюкова. Юбиляра поздравляют производственники



Рис. 18. Юбилей П.Н. Панюкова. Юбиляра поздравляет директор ПНИИС Ф.В. Котлов



Рис. 19. Юбилей П.Н. Панюкова. Юбилера поздравляет заведующая кафедрой философии МГИ Л. Станис

возникшее на стыке физики и геологии и получившее название «петрофизика». На основе прочитанного курса лекций П.Н. Панюков подготовил и выпустил три части учебного пособия по данному предмету (1966, 1968, 1972 гг.) [1].

Проявляя заботу о научных кадрах, П.Н. Панюков как научный руководитель подготовил 20 кандидатов геолого-минералогических и технических наук, создав тем самым собственную школу инженерной геологии в горном деле. Его ученик доктор технических наук профессор А.М. Гальперин возглавляет кафедру геологии МГИ с 1989 г.

Говоря о событиях, связанных с жизнью семьи П.Н. Панюкова, нельзя не коснуться событий 1937–1938 гг. Тогда был расстрелян его старший брат Владимир Николаевич, отмеченный многими талантами. Как уже упоминалось, он прошел Первую мировую войну, сражался на всех фронтах Гражданской войны, получая новые назначения и должности. В 1923 г. он был награжден орденом Красной Звезды, в 1924 г. окончил в Ташкенте курсы востоковедения, изучил китайский и монгольский языки (всего В.Н. Панюков владел шестью иностранными языками), в конце 1924 г. получил назначение советника при Китайском революционном правительстве в Гуанчжоу, в 1925 г. окончил курсы усовершенствования высшего состава



Рис. 21. П.Н. Панюков и Г.А. Голодковская в порту г. Марселя на экскурсии по Франции после Первого конгресса МАИГ (сентябрь 1970 г.)



Рис. 20. Советские ученые на Первом конгрессе МАИГ (слева направо): П.Н. Панюков, М.В. Чуринов, Г.М. Шахуньянц, Г.К. Бондарик (г. Париж, сентябрь 1970 г.)

при военной академии РККА и вновь находился военным советником в Китае, в 1932–1934 гг. являлся главным военным советником Монгольской народной армии и был удостоен высшей награды Монголии — ордена Полярной Звезды, позже работал в Наркомате обороны СССР, в 1935 г. получил звание комбрига. Однако в августе 1937 г. Владимир Николаевич был арестован и в марте 1938 г. его расстреляли. В 1956 г. он был реабилитирован.

После расстрела старшего брата П.Н. Панюков принимал большое участие в судьбе его сына Владимира, который был тогда подростком: помогал ему материально и морально, буквально вел его по жизни и в значительной степени способствовал выбору его профессии (молодой человек окончил Московский горный институт и в дальнейшем успешно работал в сфере угольной промышленности).

Далее хотелось бы остановиться на праздновании 60-летия П.Н. Панюкова, которое торжественно отмечалось 4 июля 1968 г. в стенах Московского горного института. Благодаря членам семьи Пантелеймона Николаевича, бережно хранившим его архив на протяжении четырех десятилетий, появилась счастливая возможность соприкоснуться с этим важным событием в его биографии. Поздравительные адреса, письма, телеграммы, открытки, грамоты, приказы, стихи, фотографии и другие архивные материалы убедительно показывают, что этот юбилей привлек внимание специалистов из многих регионов страны и явился крупным событием в истории инженерной геологии. Поздравления юбиляру поступили из многих городов страны: Москвы, Ленинграда, Алма-Аты, Тбилиси, Киева, Сыктывкара, Белгорода, Губкина, Днепропетровска, Апатитов, Загорска, Луганска, Горького, Магнитогорска, Новосибирска, Перми, Одессы, Ялты. Юбилера поздравили более 50 организаций: вузов, научно-исследовательских институтов, геологических управлений, геологических партий и экспедиций, горных комбинатов различных общесоюзных министерств и ведомств (Минвуза, Госстроя, Мингео, Минчермета, Академии наук). Фотограф, присутствовавший на юбилейном заседании, запечатлел гостей в зале и выступавших ораторов в те моменты, когда они вручали юбиляру поздравительные адреса и говорили слова приветствий. Вглядываясь в серьезные или радостные, спокойные или озаренные лучезарными улыбками лица на этих фотографиях, сразу ощущаешь атмосферу большого праздничного события. Тексты поздравительных адресов



Рис. 22. Семья П.Н. Панюкова: сверху — Пантелеймон Николаевич и его дочь Маргарита Пантелеймоновна, внизу — его жена Наталия Николаевна и внук Николай (г. Москва, 1972 г.)

дают возможность ознакомиться с оценками, данными коллегами и соратниками П.Н. Панюкова его вкладу в развитие инженерной геологии, а также почувствовать их благодарность и любовь к нему (см. «Тексты некоторых поздравительных адресов...»). С моей точки зрения, эти адреса являются историческим материалом, который может быть востребован в дальнейшем, и его необходимо сохранить.



Рис. 23. Последняя фотография П.Н. Панюкова. Собрание по инженерно-геологическому картированию. Слева направо: П.Н. Панюков, С.В. Дроздов, С.А. Акинфиев (Москва, МГУ, Большая геологическая аудитория, 30 января 1974 г., фото В.И. Васильева)

ТЕКСТЫ НЕКОТОРЫХ ПОЗДРАВИТЕЛЬНЫХ АДРЕСОВ В ЧЕСТЬ 60-ЛЕТИЯ П.Н. ПАНЮКОВА

Поздравление от Московского горного института

Дорогой Пантелеймон Николаевич! В день Вашего 60-летия и 35-летия инженерной, научной и общественной деятельности ректорат, партийный, профсоюзный комитеты и ученый совет Московского горного института горячо поздравляют Вас с этой знаменательной датой. Все свои знания, опыт и энергию Вы отдаете улучшению учебного процесса по фундаментальным для горняков дисциплинам геологического цикла, неустанно ведете научно-исследовательскую работу по кардинальным вопросам инженерной геологии и петрофизики в горном деле, с большой любовью и отзывчивостью проводите работу по коммунистическому воспитанию студенческой молодежи и сотрудников кафедры, являясь руководителем научного семинара по философским проблемам в геологии. Вы являетесь автором большого количества печатных работ, в том числе учебников и учебных пособий по курсам общей геологии, инженерной геологии, петрофизики. Вашу эрудицию и опыт организатора Вы успешно применяете, являясь членом Научного совета по инженерной геологии при ОНЗ АН СССР, секции инженерной геологии Национального комитета геологов СССР, Научно-технического совета по горному образованию МВ и ССО СССР, Научного совета ВИОГЕМ, а также ученых советов МГИ. Желаем Вам, дорогой Пантелеймон Николаевич, здоровья, счастья и дальнейших творческих успехов. (Адрес подписали 24 человека, возглавил список подписавшихся ректор МГИ В.В. Ржевский. — Авт.)

Поздравление от кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета Московского государственного университета

Дорогой Пантелеймон Николаевич! Коллектив кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета Московского государственного университета шлет Вам в день Вашего славного юбилея самые сердечные поздравления и пожелания больших творческих успехов. Инженеры-геологи нашей страны хорошо знают Вас как одного из ведущих специалистов в области инженерной геологии, много сделавшего для развития учения о массивах горных пород как объектах и среде инженерной деятельности человека. Посвятив себя внедрению инженерной геологии в горное дело, Вы воспитали многих горняков в духе понимания инженерно-геологических явлений, возникающих в результате горно-геологических процессов, вызываемых к жизни разработкой месторождений полезных ископаемых. Интересные работы, выполняемые коллективом руководимой Вами кафедры, помогают совершенствованию нашей науки и способствуют ее развитию. В день Вашего юбилея мы желаем Вам, дорогой Пантелеймон Николаевич, доброго здоровья, счастья и сил для дальнейшей творческой деятельности на благо развития нашей советской инженерной геологии. (Адрес подписали 47 человек, в т.ч. автор настоящей статьи; список подписавшихся открыл первый проректор МГУ Е.М. Сергеев. — Авт.)

Поздравление от Геологического управления Центральных районов

Дорогой Пантелеймон Николаевич! Коллектив Геологического управления Центральных районов сердечно поздравляет Вас со знаменательной датой — днем 60-летия и 35-летием научно-педагогической и общественной деятельности. Ваша многогранная производственная работа, в основном связанная с изучением геологии Центральных областей Советского Союза, нашла отражение в многочисленной опубликованной Вами литературе, что способствовало развитию и теоретическому обоснованию инженерной геологии как самостоятельной науки. Работая в Московском геологическом управлении, Вы внесли большой научно-производственный вклад, разработав принципы составления инженерно-геологических карт, которые положены в основу дальнейшего совершенствования их методики, а составленные Вами карты до сих пор используются при проведении работ по детальному картированию. Мы выражаем Вам признательность за Ваш вклад в изучение геологии Центрального района и за горячее участие в проводимых нами работах. Желаем Вам, дорогой Пантелеймон Николаевич, больших творческих успехов, хорошего здоровья и счастья. (Адрес подписали 65 человек. — Авт.)

**Поздравление от Грузинского политехнического института**

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив Грузинского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института им. В.И. Ленина горячо поздравляет Вас — одного из виднейших представителей отечественной инженерной геологии — с 60-летием со дня рождения и 35-летием многогранной инженерной, педагогической, общественной и научной деятельности. Вся Ваша жизнь — яркий пример бескорыстного служения науке. Вы отдаете всю Вашу энергию, силы и творческое вдохновение развитию и процветанию советской инженерно-геологической науки, решению сложных задач, связанных с инженерно-геологическим изучением месторождений полезных ископаемых и выявлением природы и механизма сложных горно-геологических явлений, происходящих в период их освоения и разработки. Велик Ваш вклад в создание и развитие теоретических основ массивов горных пород. Ваши работы, отличающиеся большой глубиной и оригинальностью, явились основой для нового направления — инженерной геологии в горном деле. С Вашим участием разработаны теоретические основы новой отрасли науки — физики горных пород. Вами созданы основы физической минералогии и петрографии. На Ваших капитальных трудах воспитывались и воспитываются советские инженеры-геологи. Многие Ваши работы вошли в золотой фонд отечественной геологической науки. Дорогой Пантелеймон Николаевич, поздравляя Вас со славным шестидесятилетием, многотысячный коллектив Грузинского политехнического института им. В.И. Ленина и все Ваши грузинские друзья желают Вам долгих лет здоровья и новых творческих успехов во имя процветания отечественной геологической науки, на благо нашей великой Родины.

(Адрес был передан представителем Грузинского политехнического института от имени его ректора И.М. Буачидзе. — Авт.)

Поздравление от Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС)

Дорогой и глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив сотрудников Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве Госстроя СССР сердечно поздравляет Вас в день Вашего славного юбилея — 60-летия со дня рождения и 35-летия научно-педагогической деятельности. Мы, сотрудники ПНИИС, многие из которых работали с Вами еще в Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф.П. Саваренского АН СССР, прекрасно знаем Вас как одного из ведущих ученых нашей страны в области инженерной геологии. Вы снискали себе славу крупного ученого в различных областях инженерно-геологических знаний — региональной инженерной геологии, инженерной геодинамике, грунтоведении и геомеханике. Разносторонность и глубина подхода к изучению различных вопросов инженерной геологии нашли отражение в многочисленных Ваших трудах, учебниках и учебных пособиях. На протяжении последних десятилетий развитие инженерной геологии в СССР неразрывно связано с Вашим именем. По Вашим книгам учатся не только сотни студентов. Инженеры и научные работники находят в них оригинальную и глубокую трактовку основных проблем нашей науки. В последние годы Вы успешно развиваете новое научное направление — инженерную геологию горного дела. В результате многолетней плодотворной научной и педагогической деятельности Вы воспитали и вырастили многочисленные кадры инженеров-геологов. В день Вашего славного юбилея мы горячо поздравляем Вас и желаем Вам большого счастья, отличного здоровья, многих лет жизни, новых творческих успехов в развитии науки, в воспитании подрастающего поколения и подготовке высококвалифицированных специалистов.

(Адрес подписали 43 человека, возглавил список подписей директор ПНИИС Ф.В. Котлов. — Авт.)

Поздравление от Второго гидрогеологического управления

Дорогой Пантелеймон Николаевич!

Геологи и гидрогеологи Второго гидрогеологического управления — Ваши бывшие сослуживцы и сотрудники по совместным гидрогеологическим исследованиям для проектирования орошения земель Центральных черноземных областей, юга Украины и других районов нашей Родины — горячо поздравляют Вас в связи с 60-летием со дня рождения и 35-летием инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности. Ваши исключительная работоспособность, большая эрудиция и творческая инициатива служат нам всегда примером, на котором воспитываются кадры молодых специалистов. Весь свой огромный опыт и знания Вы целиком отдаете любимой профессии, проявляя повседневно стремление к развитию теории инженерной геологии и совершенствованию методов исследований для решения практических задач. От всего сердца желаем Вам здоровья и творческих успехов.

(Адрес подписали 23 человека. — Авт.)

Поздравление от Адлерской комплексной станции ПНИИС

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

В день Вашего шестидесятилетия и юбилея инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности сердечно поздравляем Вас с успехами на ниве геологической науки и в благородном деле подготовки и воспитания молодого поколения горных инженеров. Ваши научные труды в области инженерной геологии и развития новых взглядов на энергетику геологических процессов пользуются широкой известностью и признанием и постоянно используются нами в проводимых тематических исследованиях. Многие из нас являются непосредственно Вашими учениками и с благодарностью помнят, что в обладании своей специальностью им оказали огромную помощь написанные Вами учебники и содержательные талантливо читаемые лекции. Дорогой Пантелеймон Николаевич! От всего сердца желаем Вам здоровья, счастья, благополучия, многих лет плодотворной научной и педагогической деятельности и успехов во всех начинаниях.

(Адрес подписали 12 человек. — Авт.)

Поздравление от Всесоюзного научно-исследовательского института использования газа в народном хозяйстве (ВНИИПромгаз)

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

В день Вашего шестидесятилетия дирекция, партийное бюро, местком и весь коллектив научных работников института ВНИИПромгаз сердечно выражают Вам сиюю признательность и чувство глубокого уважения. Мы знаем Вас как крупного специалиста в инженерной геологии и геолого-маркшейдерском деле, автора большого числа научных работ и учебников. Вы отдали много сил благородному делу подготовки и воспитания высококвалифицированных специалистов — инженеров и научных работников, многие из которых успешно защитили под Вашим научным руководством кандидатские диссертации и работают в настоящее время по проблеме создания подземных хранилищ для газонефтепродуктов. Ваши научная и педагогическая эрудиция, принципиальность и умение работать с людьми, вся Ваша жизнь служат для воспитания молодого поколения научных работников. Сердечно поздравляем Вас с днем рождения и желаем Вам доброго здоровья, бодрости, большого личного счастья и новых творческих успехов в научной и педагогической деятельности.

(Адрес подписали 53 человека, возглавил список подписавшихся директор института ВНИИПромгаз И. Горкуша. — Авт.)



Поздравление от Всесоюзного научно-исследовательского института гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив института ВСЕГИНГЕО горячо приветствует Вас в связи с 60-летием со дня Вашего рождения и 35-летием Вашей производственной, научно-педагогической и общественной деятельности. Вашими трудами внесен неоценимый вклад в изучение инженерно-геологических условий освоения месторождений полезных ископаемых. В этой области Вами разработано учение об инженерно-геологических массивных породах, явившееся важным разделом теории инженерной геологии. Искренне желаем Вам, глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич, еще многих и многих лет доброго здоровья и плодотворной научной и педагогической деятельности.

(Адрес подписали 33 человека. — Авт.)

Поздравление от Научно-исследовательского института по проблемам Курской магнитной аномалии (НИИКМА)

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив сотрудников Научно-исследовательского института по проблемам Курской магнитной аномалии им. Л.Д. Шевякова поздравляет Вас с шестидесятилетием, желает доброго здоровья, счастья, новых творческих достижений. По этому торжественному случаю нам особенно приятно выразить глубокое удовлетворение плодотворностью Ваших многолетних творческих связей с НИИКМА. Разрешите выразить надежду, что эти связи получат дальнейшее развитие.

(Адрес подписан руководством НИИКМА. — Авт.)

Поздравление от Горно-металлургического института Кольского филиала АН СССР

Глубокоуважаемый и дорогой Пантелеймон Николаевич!

Коллектив Горно-металлургического института Кольского филиала АН СССР шлет Вам сердечные поздравления с большой юбилейной датой — 60-летием со дня рождения и 35-летием инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности. Ваш плодотворный труд, направленный на развитие инженерной геологии и приближение ее методов к решению задач в области горного дела, широко известен в кругах специалистов — научных работников и инженеров. Многие Ваши ученики — выпускники Московского горного института — успешно трудятся на предприятиях, стремясь претворить в жизнь те знания, которые Вы передали им за годы учебы. Искренне желаем Вам хорошего здоровья и дальнейших успехов на благо советской науки.

(Адрес подписали 29 человек. — Авт.)

Поздравление от Гидрорежимной экспедиции ВСЕГИНГЕО

Дорогой Пантелеймон Николаевич!

Коллектив Гидрорежимной экспедиции института ВСЕГИНГЕО поздравляет Вас со знаменательной датой — 60-летием со дня рождения и 35-летием инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности. Хорошо известна Ваша исключительно плодотворная, разносторонняя деятельность в важнейших областях советской инженерной геологии. Работники Гидрорежимной экспедиции как выходцы (вместе с Вами) из недр Геологического управления Центральных районов помнят Вашу прекрасную работу на юго-западе Москвы... и на подмосковных водохранилищах. Работники Гидрорежимной экспедиции особенно помнят Ваш ценный вклад как консультанта и рецензента по работам оползневых станций. Мы бы очень рады были, если бы Вы и сейчас сошли с высоких гор в долины рек Волги, Москвы, Оки и даже Черного моря и снова, как бывало, помогли нам в повседневных будничных важных работах. А для Вас работа и труд неотъемлемы от жизни. От всей души поздравляем Вас в этот памятный день, а также Вашу супругу Наталью Николаевну и всю семью и желаем долгих лет совместной жизни, полной радости, счастья и больших творческих успехов на благо нашей Родины.

(Адрес подписали 20 человек. — Авт.)

Поздравление от Ленинградского горного института

...Коллектив преподавателей, научных сотрудников и студентов Ленинградского горного института горячо приветствует Вас как одного из первых выпускников института по специальности «гидрогеология и инженерная геология» в связи с шестидесятилетием со дня рождения и тридцатипятилетием научной и педагогической деятельности. Ваши научные труды по инженерной геологии в горном деле особенно близки преподавателям, научным работникам и студентам нашего института и широко используются в научной работе и для обучения студентов. Многие из них знают Вас и как чуткого и внимательного воспитателя студентов и руководителя молодых научных работников. Мы высоко ценим Ваши усилия в развитии инженерной геологии в нашей стране, нам хорошо известен Ваш большой вклад в инженерную геологию в той ее области, которая граничит с научными дисциплинами горного профиля. Многоуважаемый Пантелеймон Николаевич, желаем Вам и в дальнейшем плодотворной работы в области инженерной подготовки кадров и доброго здоровья на многие, многие годы жизни.

(Адрес подписали 42 человека. — Авт.)

Поздравление от Казахского политехнического института

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Ректорат и весь профессорско-преподавательский состав Казахского политехнического института сердечно поздравляет Вас в связи с 60-летием со дня рождения и 35-летием инженерно-научно-педагогической и общественной деятельности. Мы знаем Вас как автора фундаментального труда по инженерной геологии, где Вы прекрасно показали свою многогранную деятельность в области как геологического, так и горнотехнического цикла знаний. Мы знаем также Вас как замечательного педагога, передающего свой богатый опыт и знания молодым специалистам. Желаем Вам, дорогой Пантелеймон Николаевич, многих лет жизни, крепкого здоровья, дальнейших успехов в работе и большого личного счастья.

(Адрес подписало руководство Казахского политехнического института. — Авт.)

Поздравление от комбината «КМА-руда»

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив горняков и гидрогеологов комбината «КМА-руда» сердечно поздравляет Вас с 60-летием со дня рождения и 35-летием трудовой деятельности. Работая профессором Московского горного института, Вы постоянно держали связь с производством, помогая своими ценными советами и научными работами освоению несметных богатств Курской магнитной аномалии. От всей души желаем Вам, Пантелеймон Николаевич, долгих лет жизни, крепкого здоровья и успехов в труде на благо советского народа.

(Адрес подписало руководство комбината «КМА руда». — Авт.)

**Поздравление от института ВИОГЕМ**

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив института «ВИОГЕМ» горячо поздравляет Вас с 60-летием со дня рождения. Мы знаем Вас как одного из ведущих специалистов в области инженерной геологии, крупного ученого, автора многих научных трудов. Являясь профессором Московского горного института, свой труд и знания Вы отдаете благородному делу воспитания высококвалифицированных инженерно-технических работников для горнодобывающей промышленности нашей страны. Институт ВИОГЕМ желает Вам доброго здоровья и дальнейших успехов в Вашей плодотворной деятельности на благо нашей Родины.

(Адрес подписало руководство института ВИОГЕМ. — Авт.)

Поздравление от Института горного дела им. А.А. Скочинского

Глубокоуважаемый Пантелеймон Николаевич!

Коллектив сотрудников Института горного дела им. А.А. Скочинского сердечно поздравляет Вас со знаменательной датой — 60-летием со дня рождения и 35-летием инженерной, научно-педагогической и общественной деятельности. История развития отечественной науки в области инженерной геологии неразрывно связана с Вашим именем. С 1933 года Вы плодотворно работаете в области применения инженерной геологии в решении научно-практических задач горного дела. Вот уже двадцать лет Вы ведете большую научно-педагогическую работу в Московском горном институте и активно участвуете в подготовке советских специалистов горного профиля. Вами создан новый курс инженерной геологии в горном деле, получивший всеобщее признание и применение, а по Вашим учебникам по общей и инженерной геологии учатся почти все горные институты. Эти учебные пособия являются настольными книгами для горняков. Вы принимаете весомое участие в решении актуальных научно-технических вопросов, являясь консультантом ряда научно-исследовательских институтов. Вы ведете также большую научно-организационную деятельность, принимая участие в руководстве Советом по инженерной геологии АН СССР. Общение с Вами, Пантелеймон Николаевич, всегда вселяет в нас много бодрости и оптимизма. В день Вашего славного юбилея коллектив института поздравляет Вас, желает Вам счастья, крепкого здоровья и дальнейших творческих успехов на благо нашей Родины.

(Адрес подписали 67 человек. — Авт.)

Тексты еще 16 поздравительных адресов от различных кафедр Московского горного института, кафедр гидрогеологии и динамической геологии Московского государственного университета, кафедры геологии и гидрогеологии Всесоюзного заочного политехнического института из-за ограниченности размеров статьи не приводятся.

Телеграммами лично юбиляра поздравили многие его друзья и соратники: профессор Павлинов из Москвы, профессор Дранников из Ялты, ученый секретарь Джанджигавя из Тбилиси, декан геологического факультета ЛГУ Синицын из Ленинграда, профессор Кравцов из Луганска, Чинакал из Новосибирска, Корженевский из Ялты, Фисенко из Ленинграда, Абрамов из Москвы, академик Ержанов из Алма-Аты, профессор Новожилов из Днепропетровска, доктор наук Емельянова из Москвы, Натаров из Белгорода, доценты Кораблев, Болгов, Георгиевская, Забирова из Алма-Аты, профессор Малашицкий из Киева, Букановский из Перми, доктор наук Николаев из Горького, Попов из Магнитогорска, Костин из Ялты, Чурсанов из Белгорода, Динь Ван Лап из Вьетнама, Перцовский из Губкина, Дяргилев из Губкина, профессор Розовский из Одессы, Джикия из Тбилиси, профессор Ломтадзе из Ленинграда, профессор Гуменский из Толмачева, Тимушева из Сыктывкара, Глушко из Днепропетровска, племянники Володя и Таня и другие. Во многих поздравлениях содержатся слова благодарности, теплые пожелания счастья, здоровья и успехов. Приведем текст одной из телеграмм (фототелеграммы): «Коллектив проблемной лаборатории инженерной геологии Одесского государственного университета горячо поздравляет профессора, доктора геолого-минералогических наук Пантелеймона Николаевича Панюкова, ученых и студентов Московского института с замечательным юбилеем. Славный юбилей ведущего ученого советской геологии, основателя нового направления — инженерной геологии глубинных зон земной коры — является большим праздником горно-геологической науки. Искренне желаем юбиляру новых творческих успехов, здоровья, счастья». Член Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению и председатель его проблемной комиссии по инженерно-геологическому изучению шельфов профессор Л.Б. Розовский, писавший эту телеграмму по поручению коллектива Про-

блемной лаборатории инженерной геологии Одесского государственного университета (ОГУ), нашел нужные слова для определения значения этого юбилея — «большой праздник горно-геологической науки»!

Значительное место в деятельности П.Н. Панюкова занимала научно-организационная работа, в частности в Научном совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению. С 1966 по 1974 г. Пантелеймон Николаевич являлся заместителем председателя совета и одновременно руководил его рабочей группой, а позднее — проблемной комиссией. За эти шесть лет работы Научный совет получил признание во всей стране как авторитетный общественный орган в области инженерной геологии, рекомендациями и решениями которого руководствовались в своей практической работе министерства и ведомства, а также отдельные организации в стране.

Вместе с Е.М. Сергеевым П.Н. Панюков активно работал над составлением всех документов, необходимых для организации работы Научного совета. В качестве основных направлений деятельности совета были определены следующие проблемы: (1) формирование свойств горных пород как многофазных систем; (2) инженерно-геологические особенности генетических и петрографических типов горных пород как основа искусственного повышения или понижения их прочности и других свойств; (3) факторы и закономерности развития различных современных геологических и инженерно-геологических процессов, разработка методов их количественной оценки; (4) инженерная геология глубинных зон земной коры как основа подземного строительства и освоения минеральных ресурсов; (5) прогноз и оценка инженерно-геологических условий шельфовых зон; (6) принципы и методы специального картирования и районирования территорий. На первом заседании Научного совета в ноябре 1966 г. были созданы шесть рабочих групп (по 5–7 членов совета в каждой) по этим



основным направлениям. П.Н. Панюков возглавил рабочую группу по инженерной геологии глубоких зон земной коры.

В 1967 г. было разработано Положение о Научном совете АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению, в соответствии с которым совет получил статус научно-консультативного органа на общественных началах, осуществляющего координационную деятельность в стране в области инженерной геологии и участвующего как коллективный член в работе международных научных организаций. Основной формой его работы являлись заседания совета, его рабочих групп, организация семинаров, симпозиумов, конференций, координационных совещаний.

П.Н. Панюков активно участвовал во всех мероприятиях Научного совета — выступал с докладами, делал предложения по решениям совета и отдельных проводимых им совещаний, из которых упомянем лишь некоторые: Совещание «Дискуссия о путях дальнейшего развития инженерной геологии» (1969 г.), Первый конгресс МАИГ в Париже (1970 г.), Международный симпозиум МАИГ в Москве (1971 г.), Совещание «Рациональное использование земной коры» (1972 г.), Всесоюзная конференция по инженерной геологии в Тбилиси (1972 г.), Симпозиум по инженерно-геологическому картированию (1974 г.).

В 1972 г. состав Научного совета был переутвержден на новый срок. Его председателем оставался Е.М. Сергеев, заместителем — П.Н. Панюков, ученым секретарем — В.С. Шибаква. В 1972 г. была разработана новая структура совета, в соответствии с которой его основными структурными подразделениями становились проблемные комиссии по отдельным отраслям инженерной геологии. Было утверждено 11 проблемных комиссий в составе Научного совета. П.Н. Панюков возглавил комиссию по проблемам инженерной геологии месторождений полезных ископаемых, которая проводила активную работу. В мае 1975 г. комиссия провела в г. Белгороде Всесоюзное совещание по проблемам прогноза инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых, но оно, к величайшему сожалению, было проведено уже без Пантелеймона Николаевича — он ушел из жизни в 1974 г. После смерти П.Н. Панюкова комиссия успешно работала многие годы под руководством Г.А. Голодковской, ученым секретарем был талантливый ученик Пантелеймона Николаевича А.М. Гальперин.

П.Н. Панюков внес значительный вклад в работу Научного совета. Е.М. Сергеев высоко ценил его знания и опыт, прислушивался к его мнению. Между Евгением Михайловичем и Пантелеймоном Николаевичем были полные взаимопонимание и доверие, а также сердечное расположение друг к другу. Е.М. Сергеев нередко направлял меня как ученого секретаря совета к П.Н. Панюкову для согласования отдельных вопросов. Вспоминаются поездки домой к Пантелеймону Николаевичу, жившему на Донской улице, с материалами сборника докладов советских ученых к Первому конгрессу МАИГ в Париже и материалами к координационному плану Научного совета по проблемам инженерной геологии, обсуждение которого проходило в Тбилиси в 1972 г. Хорошо сохранилось в памяти, что общение с ним было очень приятным — Пантелеймон Николаевич был человеком спокойным, внимательным, умел очень четко

излагать свои мысли. Он поинтересовался моей научной работой и, узнав, что я по специальности петрограф, подарил мне свою лично подписанную работу «Основы физической минералогии и петрографии» [4]. Эта книга сохранилась у меня до сего времени.

К величайшему сожалению, Пантелеймон Николаевич был сражен инфарктом в расцвете творческих сил. Он активно работал до последнего дня своей жизни и оставил после себя научные труды, идеи, сильных учеников и последователей. Его имя не было забыто. Например, ученики П.Н. Панюкова Анатолий Моисеевич Гальперин и Владимир Сергеевич Зайцев в день его кончины 17 февраля ежегодно приходили на его могилу на Донском кладбище в Москве вместе с его вдовой Натальей Николаевной Красильниковой на протяжении 32 лет. Это ли не пример памяти сердца!

Закончить эту статью хотелось бы дружественными шуточными стихами, написанными М.М. Протодяковым к 60-летию Пантелеймона Николаевича Панюкова, которые полностью охватили масштаб его личности:

Вы геолог, математик,
Физик, химик, философ,
Инженер, радиотехник —
Несравненный Панюков.
Вас во всем Союзе знают,
С Вами полк учеников,
Все Вас крепко уважают,
Пантелеймон Панюков.

Автор выражает глубокую благодарность дочери П.Н. Панюкова Маргарите Пантелеймоновне Панюковой, сохранившей его архив и любезно предоставившей эти материалы для работы над данной статьей. 📖

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кафедра геологии Московского государственного горного университета 90 лет / авт.-сост. В.С. Зайцев, А.М. Гальперин, М.В. Щеткина. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2009. 159 с.
2. Панюков П.Н. Инженерная геология. М.: Недра, 1978. 296 с.
3. Панюков П.Н. Некоторые вопросы теории и методики инженерно-геологических исследований месторождений полезных ископаемых // Вопросы инженерной геологии: доклады советских ученых к Международному конгрессу Международной ассоциации инженерной геологии. М.: Изд-во ВИНТИ, 1970. С. 241–248.
4. Панюков П.Н. Основы физической минералогии и петрографии: учебное пособие. Ч. 1. Основы физической минералогии. М.: Изд-во Московского института радиотехники и горной электромеханики, 1966. 70 с.
5. Панюков П.Н. Современное состояние и задачи инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии: материалы дискуссии к первому Международному конгрессу по инженерной геологии. М.: Изд-во МГУ, 1971. С. 97–103.
6. Панюков П.Н., Гальперин А.М. Инженерная геология в проблеме «карьер будущего» // Научные труды Горного института. М., 1972. С. 17–25.
7. Панюков П.Н., Ржевский В.В., Истомин В.В., Гальперин А.М. Геомеханика отвальных работ в карьерах. М.: Недра, 1972.
8. Сергеев Е.М., Приклонский В.А., Панюков П.Н., Белый Л.Д. Общая инженерно-геологическая классификация горных пород и почв // Труды Совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1957. Т. 2. С. 18–44.



КАФЕДРЕ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНОГО УНИВЕРСИТЕТА (МГРИ-РГГРУ) — 80 ЛЕТ

THE DEPARTMENT OF ENGINEERING GEOLOGY OF THE RUSSIAN STATE GEOLOGICAL PROSPECTING UNIVERSITY IS 80 YEARS OLD

ПЕНДИН В.В.

*Заведующий кафедрой инженерной геологии,
декан гидрогеологического факультета,
Российский государственный геологоразведочный университет
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ),
д.г.-м.н., профессор, г. Москва,
engeo@msgpa.msgpa.ru*

ПОДБОРСКАЯ В.О.

*Доцент кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ,
к.г.-м.н., г. Москва*

PENDIN V.V.

*The head of the engineering geology department, the dean
of the Academic Council of the Ordzhonikidze Russian State Geological
Prospecting University, doctor of science (Geology and Mineralogy),
professor, Moscow, engeo@msgpa.msgpa.ru*

PODBORSKAYA V.O.

*An associate professor of the engineering geology department
of the hydrogeology faculty of the Ordzhonikidze Russian State
Geological Prospecting University, candidate of science
(Geology and Mineralogy), Moscow*

Ключевые слова:

*Российский государственный геологоразведочный
университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ); кафедра
инженерной геологии.*

Key words:

*Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University;
department of engineering geology.*

Аннотация

В 2012 г. кафедра инженерной геологии Российского государственного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ) отмечала 80-летие со дня своего основания. В данной публикации изложена история создания и развития кафедры, рассматриваются ее достижения и современное состояние. Статья написана по материалам брошюры В.В. Пендина и В.О. Подборской «К 80-летию кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ (1932–2012 гг.)», изданной в университете в 2013 г.

В 2012 г. кафедра инженерной геологии Российского государственного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ) отмечала 80-летие со дня своего основания. За 80 лет существования кафедры сформировалась и утвердилась школа инженеров-геологов МГРИ-РГГРУ, главными традициями которой являются глубокая и всесторонняя связь с другими геологическими науками, комплексный подход к анализу взаимодействия литосферы с остальными сферами Земли, высокий уровень теоретических обобщений, активное использование новейших методов комплексного количественного анализа негативных природных и техногенных геологических процессов, теснейшая связь научных исследований с практикой изысканий и строительства инженерных сооружений.

Историю делают люди, поэтому история кафедры инженерной геологии является плодом деятельности ее сотрудников: профессоров, доцентов, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов. Наиболее яркие представители кафедры разных лет — профессора Ф.П. Саваренский, В.А. Приклонский, И.В. Попов, Н.В. Коломенский, И.С. Комаров, Г.К. Бондарик, С.В. Дроздов, Е.М. Пашкин, Л.А. Ярг, А.А. Полуботко, В.Л. Невечеря, В.В. Дмитриев, В.В. Пендин, Д.С. Дроздов, В.М. Кувшинников.

Кафедра инженерной геологии была образована на гидрогеологическом факультете Московского геологоразведочного института (МГРИ) в 1932 году. Ее первым заведующим был профессор Ф.П. Саваренский. Отсутствие учебников и учебных пособий, необходимость активного формирования учебного плана по данной специальности требовали от него большого внимания к подбору профессорско-преподавательского состава, поскольку при чтении лекций поначалу приходилось ориентироваться главным образом на личный опыт. В 1934 г. Ф.П. Саваренский начал читать курс лекций

Abstract

In 2012 the department of engineering geology of the Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI-RGGRU) celebrated its 80th anniversary from the date of its establishment. The paper considers the history of foundation and development of the department, its achievements and present state. The article is written using the materials of the brochure «On the 80th anniversary of the engineering geology department of the MGRI-RGGRU (1932-2012)» by V.V. Pendin and V.O. Podborskaya that was published in the university in 2013.



по инженерной геологии, а в 1937 г. под его редакцией был издан первый в СССР учебник по этой дисциплине. В годы своего заведования кафедрой (1932-1936) он провел большую работу по организации учебных лабораторий и определил основные направления научно-исследовательских работ. Было решено организовать на кафедре инженерно-геологическую лабораторию, а также лабораторию грунтоведения и механики грунтов.

В 1930-е гг. сотрудники кафедры принимали активное участие в инженерно-геологических исследованиях для обоснования крупных строительных проектов — канала им. Москвы, Московского метрополитена, Волжского каскада гидроэлектростанций, Дворца Советов и др.

В 1937 г. произошло объединение кафедр инженерной геологии и гидрогеологии. На объединенной кафедре под руководством профессора Г.Н. Каменского велась активная работа по составлению учебных программ, подготовке учебников и учебных пособий. В 1939 г. был опубликован первый том классического учебника В.А. Приклонского «Грунтоведение». В том же году был издан первый справочник по инженерной геологии под редакцией Ф.П. Саваренского.

Во время Великой Отечественной войны преподаватели и сотрудники кафедры активно участвовали в инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях, связанных со строительством оборонительных сооружений, водоснабжением, военно-геологическим обеспечением операций Советской армии. При этом на самой кафедре не прекращалась учебно-педагогическая работа, обобщался полученный военный опыт. Для студентов был создан и читался курс «Военная геология», по которому было издано учебное пособие.

В 1946 г. произошло разделение объединенной кафедры гидрогеологии и инженерной геологии. Заведующим кафедрой инженерной геологии стал профессор И.В. Попов. Это было время послевоенного восстановления разрушенного войной народного хозяйства, в связи с чем в 1948 г. в учебный план по подготовке специалистов по инженерной геологии был введен курс «Инженерные сооружения».

Кроме восстановительных работ в стране мощно разворачивалось гидроэнергетическое строительство, которое требовало соответствующего инженерно-геологического обеспечения. В этих целях сотрудники кафедры под руководством И.В. Попова и Н.И. Николаева составили первую инженерно-геологическую карту европейской части СССР в масштабе 1:2 500 000. При ее создании были реализованы разработанные И.В. Поповым принципы и методы инженерно-геологического районирования, составляющие теоретический базис региональной инженерной геологии. Капитальный двухтомный труд преподавателей кафедры И.В. Попова, В.А. Приклонского, Б.П. Попова и Г.С. Золотарева «Методика инженерно-геологических исследований для гидроэнергетического строительства» был удостоен в 1952 г. государственной награды СССР — Сталинской премии III степени. В конце 1940-1950-х гг. сотрудниками кафедры осуществлялись широкие научные исследования на ряде крупнейших гидроузлов страны.

В 1949 г. был издан учебник И.В. Попова «Инженерная геология». В 1950 г. в учебный план МГРИ был включен курс региональной инженерной геологии, который профессор И.В. Попов начал читать в 1952 г.



Пендин Вадим Владимирович



Бондарик Генрик Кондратьевич



Дмитриев Виктор Викторович



Пашкин Евгений Меркурьевич



Ярг Людмила Александровна



Полуботко Анатолий Анатольевич



Дроздов Дмитрий Степанович



Кувшинников Виктор Михайлович



Подборская Валерия Олеговна



Вязкова Ольга Евгеньевна



Дёмкин Игорь Анатольевич



Горобцов Денис Николаевич

В 1954 г. заведующим кафедрой инженерной геологии стал профессор Н.В. Коломенский, который руководил ею до самого дня своей смерти в 1974 г. В этот период активно совершенствовалась учебно-педагогическая деятельность. После передачи в 1963 г. МГРИ корпуса МГУ на проспекте Маркса в нем были оборудованы аудитории и лаборатории в т.ч. для кафедры инженерной геологии. На Загорском полигоне под руководством Н.В. Коломенского было построено здание инженерно-геологической лаборатории («Домик Коломенского»). Приобреталось полевое оборудование, активно создавалась и публиковалась научная и учебная литература. Н.В. Коломенский и сотрудники кафедры активно участвовали в общественной и административной жизни института, в организации образования, науки и производства в стране.

В 1950-1960-е г. на кафедре активно велась научная деятельность, выполнялись крупные полевые и лабораторные работы, осмысление результатов которых позволило внести крупный вклад в развитие инженерной геологии. В частности, Н.В. Коломенский, С.В. Дроздов и Л.А. Ярг разработали методику инженерно-геологического изучения выветрелых пород, Н.В. Коломенский и И.С. Комаров сформулировали понятие «инженерно-геологический элемент», Н.В. Коломенский ввел некоторые новые положения методики инженерно-геологического опробования. На 20-м Меж-



Купцов Александр Георгиевич



Кюнтцель Владимир Владиславович



Гусельцев Александр Сергеевич



Попомарёв Василий Владимирович



Дубина Тамара Петровна



Заболоткина Лариса Владимировна



Иерусалимская Елена Николаевна



Пендина Нина Глебовна



Самцов Леонид Владимирович



Шубина Дарья Дмитриевна



Евсюкова Наталья Дорощеевна



Кулшов Александр Петрович

дународном геологическом конгрессе в Мехико в 1956 г. сотрудниками кафедры был сделан доклад о применении статистических методов в инженерной геологии, который подтвердил приоритет советской инженерно-геологической школы в этой области.

Результаты теоретических разработок кафедры в 1950-е гг. были изложены во втором томе учебника «Инженерная геология» Н.В. Коломенского для студентов техникумов, изданного в 1956 г. Составленный И.С. Комаровым раздел, посвященный приложениям математической статистики к инженерно-геологическому опробованию, направленному на выделение инженерно-геологических элементов, стал руководством для широкого использования этих методов.

Важные и оригинальные научные исследования велись в 1950-е, а затем в 1970-е гг. по проблеме прогноза переработки берегов крупнейших равнинных водохранилищ, расположенных в зонах развития дисперсных грунтов. Работы, выполненные на кафедре инженерной геологии МГРИ в 1950-х гг. под руководством Г.С. Золотарева, позволили создать методику расчета для такого прогноза. Работы, выполненные в начале 1970-х гг. под руководством Н.В. Коломенского, позволили выявить и оценить факторы, определяющие развитие процессов переработки берегов, разработать новые модели и методы прогноза и организовать сеть стационарных наблюдений.

В конце 1950-х гг. сотрудники кафедры под руководством Н.В. Коломенского занимались исследованиями инженерно-геологических причин деформаций зданий и сооружений. Анализ полученных данных показал, что в 60% случаев деформации связаны с инженерно-геологическими условиями.

В начале 1960-х гг. кафедра инженерной геологии МГРИ по договору с институтом ВСЕГИНГЕО (и с участием кафедры бурения МГРИ, Военно-воздушной академии им. Можайского и Оптического института АН СССР) приступила к разработке методики ускоренного инженерно-геологического картирования с широким применением аэрометодов. В результате анализа полученных материалов был разработан весьма эффективный ландшафтно-индикационный метод инженерно-геологического картографирования с использованием ключевых участков, нашедший в 1970-1980-е гг. повсеместное применение при съемках среднего масштаба в сложных природных условиях.

В 1966 г. при кафедре была создана экспедиция, включавшая в отдельные годы до 20 сотрудников и выполнявшая различные договорные работы. Одна из наиболее интересных по своим результатам работ этой экспедиции относится к Керченскому месторождению железных руд.

В 1974 году заведующим кафедрой инженерной геологии стал профессор Г.К. Бондарик. Учебная деятельность в эти годы была очень насыщенной. Кафедра обучала студентов на дневном и вечернем отделениях по специальности «гидрогеология и инженерная геология» с присвоением по окончании квалификации горного инженера-гидрогеолога. В 1970-х — начале 1980-х гг. на кафедре ежегодно защищали дипломы более 50 человек. Учебный процесс обогащался новыми курсами. В 1974 г. Г.К. Бондарик начал читать курс «Методические основы инженерно-геологических работ», чуть позже — принципиально новый курс «Основы теории поля геологического параметра». В 1988 г. был введен новый учебный план подготовки специалистов, согласно которому проводилось обучение студентов до 2002 г. Были введены дисциплины «Общая инженерная геология», «Теория геологического поля».

Успешно продолжалась работа по изданию учебников и монографий. В 1982 г. профессор И.С. Комаров был удостоен Ленинской премии как один из авторов и ответственный редактор первого тома монографии «Инженерная геология СССР». В 1981 г. Г.К. Бондарик опубликовал монографию «Общая теория инженерной (физической) геологии», в которой рассмотрел категориальный базис современной инженерной геологии и изложил теоретические основы главных направлений этой науки. В том же году Е.М. Пашкин опубликовал монографию «Инженерно-геологические исследования при строительстве туннелей», в которой был отражен опыт исследований влияния структуры горно-складчатых массивов на их устойчивость при сооружении уникальных гидротехнических туннелей. Преподаватели кафедры также участвовали в подготовке монографий по инженерной геологии совместно с преподавателями МГУ.

Велась активная учебно-научная работа со студентами. С начала 1970-х гг. во время зимних каникул для студентов старших курсов организовывались ежегодные научные экскурсии на интересные инженерные объекты



в разных частях страны. Кафедра также принимала участие в проведении научного обмена между студентами ГГФ МГРИ и Краковской горной академии. В 1980-1990-х гг. на кафедре организовывались студенческие научно-исследовательские отряды, которые проводили работы по инженерно-геологическому обследованию памятников архитектуры и археологических объектов.

В 1970-1980-е гг. кафедра инженерной геологии проводила научную деятельность по хоздоговорам с различными научными и производственными организациями через научно-исследовательский сектор МГРИ. В 1979 г. были возобновлены научные исследования совместно с Государственным специализированным проектным институтом в связи с проектированием уникального ускорительно-накопительного комплекса в районе Протвина. Кафедра выполнила огромный комплекс полевых и лабораторных исследований в России и за рубежом, в котором было задействовано более 30 российских и зарубежных организаций. Были разработаны принципиально новые технические устройства, стандартные образцы и методики оценки качества инженерно-геологической информации, удостоенные медалей ВДНХ.

Теоретические и прикладные разработки в рамках развития теории инженерной геологии, методологических аспектов инженерно-геологических исследований и изучения природно-технических систем под руководством профессора Г.К. Бондарика базировались на основных положениях теорий поля геологического параметра, природно-технических систем, изменчивости и устойчивого развития. Проводились исследования по расширению сферы применения теории пространственно-временной изменчивости, изучались закономерности изменчивости лессовых грунтов и отложений ледникового комплекса.

С 1976 по 1980 г. кафедра наряду с различными московскими организациями принимала участие в работах по комплексному изучению инженерно-геологических и гидрогеологических условий территории г. Москвы и его лесопарковой зоны. Под научным руководством Г.К. Бондарика выполнялись исследования по теме «Составление карт показателей свойств четвертичных отложений территории Москвы машинным способом». В рамках этой темы была собрана информация, позволившая в дальнейшем осуществить математическое моделирование и получить карты полей показателей свойств московской и днепровской морен, межморенных отложений, аллювиальных пород трех террас р. Москвы.

В период с 1983 по 1990 г. кафедра проводила научно-исследовательские работы совместно с НПО «Стройизыскания» по проблеме «Крупномасштабное инженерно-геологическое районирование территории РСФСР как основа для сейсмического микрорайонирования (СМР)». Был уточнен перечень факторов, влияющих на приращение сейсмической интенсивности, оценено их значение, разработана методика составления инженерно-геологического районирования территорий для целей СМР.

Начиная с 1970-х гг. группа сотрудников кафедры, возглавляемая Л.А. Ярғ, занималась вопросами методического обеспечения работы геологической службы, связанной с разведкой месторождений полезных ископаемых. Исследования проводились на полиметаллических

месторождениях Южного Урала и Рудного Алтая, а также на железорудных месторождениях Малого Хингана.

С середины 1970-х гг. кафедра инженерной геологии МГРИ совместно с институтами ВСЕГИНГЕО и ВНИИГАЗ занималась инженерно-геологическим обеспечением создания инфраструктуры крупнейших газовых месторождений севера Западной Сибири. В результате этих исследований были построены карты инженерно-геологического районирования этих территорий и разработаны рекомендации по эксплуатации объектов транспорта газа. Теоретическое обобщение полученных результатов привело к созданию В.В. Пендиным оригинальной научной концепции комплексного количественного анализа информации в инженерной геологии.

В 1970-х гг. при Академии наук СССР был создан Научный совет по инженерной геологии и грунтоведению (позднее — и гидрогеологии), объединивший наиболее видных ученых в этой области из разных республик Советского Союза. Совет рассматривал наиболее актуальные и сложные проблемы, связанные со строительством особо ответственных сооружений или развитием опасных геологических процессов. От кафедры инженерной геологии МГРИ в его состав вошли профессора И.С. Комаров, Г.К. Бондарик и Е.М. Пашкин.



Тихоненко Александра Сергеевна



Антрианов Даниил Валерьевич



Празднование 65-й годовщины Победы в Великой Отечественной войне (9 мая 2010 г.)



Сотрудники кафедры в дни праздников и юбилеев





С 1979 по 1986 г. Е.М. Пашкин являлся государственным экспертом Совета Министров СССР и РСФСР, Госплана СССР и РСФСР по рассмотрению возможности переброски части стока европейских рек в бассейн р. Волги и сибирских рек в Среднюю Азию. По итогам работы в Государственной экспертизе Госплана РФ по защите памятников архитектуры Русского Севера от возможного воздействия такой переброски профессор Е.М. Пашкин удостоен звания заслуженного деятеля искусств.

Преподаватели кафедры активно участвовали в международных совещаниях по геологии и инженерной геологии, принимали участие в Первом всесоюзном съезде по гидрогеологии и инженерной геологии в 1988 г. в г. Киеве, во всесоюзных и международных конференциях.

В 1987 г. был осуществлен перевод кафедры в новые помещения на улице Миклухо-Маклая, которые она занимает и в настоящее время. Площади аудиторного и лабораторного фонда кафедры значительно расширились, появилась возможность установки нового лабораторного оборудования.

С 1988 г. под руководством профессора Л.А. Ярг выполнялись работы по организации и проведению мониторинга крупных тепловых электростанций (Рязанской ГРЭС, Рязанской МГДЭС).

В начале 1991 г. заведующим кафедрой инженерной геологии стал профессор Е.М. Пашкин. Это непростое время изменений в общественно-политическом строе страны было очень трудным для института и кафедры. Однако ее преподавательский состав оставался достаточно стабильным. В связи с сокращением финансирования хозяйственных научных работ число научных сотрудников уменьшилось, однако деятельность кафедры продолжалась и в научно-исследовательском направлении.

С конца 1980-х гг. кафедра начала готовить выпускников по специальности «поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания» и по специализации «экологическая гидрогеология и инженерная геология». В 1996 г. по инициативе профессора Е.М. Пашкина на кафедре была введена новая специализация — «инженерно-геологические исследования при реставрации памятников архитектуры». Учебные планы дорабатывались и дополнялись новыми курсами.

В 1990-е гг. ежегодный прием студентов для обучения на кафедре составлял 50 человек. Активно развивалась форма заочного обучения. С 1996 г. кафедра активно включилась в разработку вопросов дистанционного обучения, а с 2000 г. — открытого образования.

Кафедра инженерной геологии также принимала участие в повышении квалификации и переподготовке специалистов отрасли и преподавательского состава вузов. С 1992 г. в работе Экспериментального центра по повышению квалификации и переподготовке научно-педагогических и руководящих кадров активное участие принимал А.А. Полуботко.

В 1990-е гг. начало развиваться компьютерное обеспечение учебного и научного процессов на кафедре. Устанавливались первые ПЭВМ. В 1996 г. была создана лаборатория вычислительной техники.

Продолжались научные исследования по ряду направлений, главным из которых в эти годы стало изучение инженерно-геологических причин деформаций памятников архитектуры и связанная с этим проблема их сохранения. В данном направлении работали коллективы под руководством Е.М. Пашкина, В.М. Кувшинникова, В.В. Дмитриева, Е.И. Романовой, В.Л. Невечери, В.О. Подборской, О.Е. Вязковой. В 1994 г. по инициативе сотрудников кафедры была создана компания ЗАО «ИГИТ», которая под руководством Е.М. Пашкина и В.М. Кувшинникова преобразовалась в крупную организацию по проведению инженерно-геологических исследований и реставрационных работ. В 2000-е гг. организовывались студенческие отряды для проведения инженерно-геологических исследований состояния Спасо-Каменного монастыря на Русском Севере, Орловской оптиной пустыни, Успенского монастыря в г. Старице Тверской области.

Профессор Л.А. Ярг течение 1990-х гг. вела фундаментальные исследования по проблеме «Коры выветривания земного шара». Результатами ее работ стали общая теория процесса выветривания и теория температурно-влажностных классов кор выветривания.

В 1990-е гг. сотрудниками кафедры под руководством В.В. Пендина осуществлялись работы по информационному обеспечению транспортировки углеводородного сырья. Их результатом стала инструкция по инженерно-геологическому обследованию объектов транспорта нефти, утвержденная ОАО «АК «Транснефть»».





Продолжалась деятельность преподавателей и сотрудников кафедры, связанная с организацией научных конференций, симпозиумов, чтений и других форумов.

В начале 2000-х гг. состав сотрудников кафедры менялся, однако основной ее кадровый состав (Г.К. Бондарик, Е.М. Пашкин, В.В. Дмитриев, Л.А. Яр, В.М. Кувшинников, О.Е. Вязкова, И.А. Демкин, В.О. Подборская, В.В. Пономарев) в течение многих лет оставался неизменным.

В настоящее время в преподавательский состав кафедры инженерной геологии РГГРУ (Российского государственного геологоразведочного университета, как теперь называется МГРИ) входят семь профессоров, четыре доцента, два старших преподавателя, четыре преподавателя, два сотрудника учебно-вспомогательного состава. Все они являются выпускниками МГРИ-РГГРУ, что дает возможность сохранять преемственность в методологии преподавания основных курсов и развивать школу кафедры.

С 2010 г. кафедра проводит обучение по магистерской программе «Инженерная геология». Уже состоялось два выпуска магистрантов.

За последние 10 лет преподавателями кафедры было выпущено 19 учебных пособий, учебников и монографий, большинство из которых получило гриф УМО и было удостоено премий МГРИ-РГГРУ в ежегодных конкурсах, проводимых ко Дню геолога.

В истекшем десятилетии на кафедре велась большая работа по составлению учебного плана специальности на основании федеральных государственных образовательных стандартов Российской системы высшего профессионального образования и по подготовке программ по предметам этого плана.

К великому сожалению, с осени 2012 г. количество преподавателей кафедры инженерной геологии уменьшилось в связи с «оптимизацией учебного процесса в МГРИ-РГГРУ». Несмотря на это, преподаватели ведут большую работу со студентами и аспирантами. В последние годы упавшее было количество защит дипломных проектов на кафедре инженерной геологии возросло почти в два раза (с 27 до 49), что связано с реализацией гидрогеологическим факультетом программы «Второе высшее образование», проводимой РГГРУ-МГРИ.

Все аудитории и лаборатории кафедры оснащены учебным оборудованием, соответствующим образовательным программам. Продолжает функционировать лабораторный комплекс на Загорском полигоне. Однако большая часть оборудования на нем уже выработала свой ресурс и нуждается в замене. Необходим также капитальный ремонт лабораторного «Домика Коломенского». Но пока обновление оборудования и ремонт помещений на кафедре и на ее полигонах осуществляются силами самих сотрудников и с привлечением спонсорской помощи (ООО «ИГИТ», ООО «ИнжGeoСервис» и др.).

В настоящее время подготовка специалистов преподавателями кафедры ведется по дневной, вечерней и заочной формам обучения. На 1–2-м курсах обучение осуществляется по специальности «прикладная геология», по специализации «поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания», на 3–5-м курсах — по специальности «поиски и раз-

ведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания», по специализации «инженерно-геологические исследования при реставрации памятников истории и культуры» (до 2010 г. подготовка осуществлялась также по специализации «экологическая гидрогеология и инженерная геология»). Кроме того, преподаватели кафедры ведут занятия по курсу «Инженерная геология» для студентов других факультетов университета. Кроме аудиторных занятий преподаватели проводят со студентами выезды на конкретные инженерные и геологические объекты, организуют учебные и производственные практики.

К сожалению, в последние годы в связи с перестройкой структуры вуза и из-за того, что было прекращено проведение хоздоговорных работ из-за изменений условий финансирования, количество научных сотрудников кафедры также сократилось до минимума. Поэтому в научной работе, проводимой сейчас на кафедре, принимают участие в той или иной степени все ее преподаватели и сотрудники. Продолжают работать в МГРИ-РГГРУ старший научный сотрудник Е.Н. Иерусалимская, научные сотрудники Л.В. Заботкина и Д.А. Королева, которые вместе с преподавателями кафедры стараются не дать остановиться научным исследованиям.

В настоящее время на кафедре продолжают разрабатываться такие основные научные направления, как тео-



Учебники и учебные пособия, выпущенные сотрудниками кафедры в последние годы.



На лекции у заведующего кафедрой профессора В.В. Пендина.



Определение физических свойств грунтов в учебной лаборатории.



Студенты группы РГ-09-1 на Крымской практике.



Выпуск групп РГ-07. Июль 2012 г.



Студенты РГ-09 на утренней линейке на Загорском полигоне в июне 2012 г.



Были на Бешкоше, там разрез хороший, целый день по мергелям ползли. ...

рия инженерной геологии и методология инженерно-геологических исследований (прежде всего исследования по общей теории процесса выветривания, корам выветривания, комплексному количественному анализу информации в инженерной геологии), изучение исторических природно-технических систем, инженерно-геологические исследования при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов транспорта углеводородов. Работы в рамках этих направлений проводятся по программам грантов. Всего за 10 лет по ним было опубликовано 166 статей и тезисов докладов.

В последние годы сотрудники кафедры инженерной геологии по-прежнему продолжают принимать активное участие в административной и общественной жизни университета. Возглавляющий кафедру профессор В.В. Пендин с 2006 г. является также деканом гидрогеологического факультета МГРИ-РГГРУ. Доцент В.О. Подборская с 2008 г. — заместитель декана по учебной работе.

Сотрудники кафедры участвуют в работе диссертационных, научных и технических советов РГГРУ, МГУ, Института геоэкологии РАН, Министерства культуры РФ, Министерств культуры различных областей Российской Федерации. Ведущие преподаватели кафедры принимают участие в работе экспертных советов по строительству сложных сооружений, охране памятников архитектуры и культуры, разработке и актуализации

заций нормативных документов по инженерным изысканиям для строительства, организации и работе научных форумов, являются членами редколлегий научных журналов («Инженерные изыскания», «Инженерная геология», «Геоэкология», «Грунтоведение»).

Международные научные контакты кафедры в настоящее время в основном состоят в научном руководстве работами аспирантов из Китая, Вьетнама, Таджикистана, африканской Республики Кот-д'Ивуар и других стран. В последние годы разрабатывается программа совместного российско-китайского научно-исследовательского проекта.

В настоящее время на кафедре проходят обучение два докторанта, в очной аспирантуре обучается семь аспирантов, которые принимают активное участие в научных конференциях и учебно-педагогической деятельности кафедры и факультета. Традицией кафедры остается также привлечение к научной работе студентов.

Кафедра инженерной геологии принимает участие во всех значимых мероприятиях МГРИ-РГГРУ. С особым чувством уважения и гордости отмечается День Победы, ведь старейшие сотрудники кафедры Г.К. Бондарик и И.С. Комаров (к сожалению, уже ушедший от нас) — ветераны Великой Отечественной войны.

Сохраняют особую дружескую атмосферу неформальные мероприятия, которые проводятся на кафедре в честь юбилеев сотрудников и в ознаменование других праздников. Несмотря на большую занятость, в них участвует большинство преподавателей, среди которых и ветераны, и молодежь.

Кафедра инженерной геологии МГРИ-РГГРУ с достоинством выдержала переломные 1990-е и трудные 2000-е гг. благодаря сплоченности и взаимопомощи ее сотрудников и успешно продолжает свою деятельность по всем направлениям. Хотелось бы пожелать им дальнейших успехов в работе и всяческого благополучия в личной жизни. 🍀

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам кафедры инженерной геологии, принявшим участие в написании брошюры [6], по материалам которой написана данная статья. Особую благодарность за помощь в этой работе авторы выражают В.М. Кувшинникову, Е.М. Пашкину, О.Е. Вязковой, В.Б. Тихоненко, А.С. Тихоненко, Д.Н. Горобцову и В.В. Невечере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История Московского геологоразведочного института. М.: Недра, 1991. 270 с.
2. Комаров И.С., Пендин В.В. Развитие инженерной геологии в России и роль кафедры инженерной геологии МГГРУ // Геология и разведка. 2002. № 5. С. 3–34.
3. МГРИ-РГГРУ. История. Люди. К 90-летию МГА-РГГРУ / под ред. Е.Л. Гольдмана, В.М. Цейслера. М.: КДУ, 2008. 296 с.
4. Пашкин Е.М. Федор Петрович Саваренский. 1881–1946. М.: Наука, 2003. 261 с.
5. Пендин В.В., Белова Г.С., Дубина Т.П., Овсянникова О.С. Вспоминая Николая Васильевича Коломенского (к 100-летию со дня рождения). М.: КДУ, 2009. 180 с.
6. Пендин В.В., Подборская В.О. К 80-летию кафедры инженерной геологии МГРИ-РГГРУ (1932–2012 гг.). М.: Изд-во РГГРУ, 2013. 75 с.

МИГРАЦИОННЫЕ БУГРЫ ПУЧЕНИЯ В ЗАПОЛЯРНОЙ ЧАСТИ КРИОЛИТОЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

PALSAS IN THE POLAR PART OF THE MIDDLE SIBERIA PERMAFROST ZONE

ВАСИЛЬЧУК Ю.К.

Профессор географического МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., действительный член Российской академии естественных наук, г. Москва, vasilch@geol.msu.ru, vasilch_geo@mail.ru

ВАСИЛЬЧУК А.К.

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва

РЕПКИНА Т.Ю.

Старший научный сотрудник географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.н., г. Москва

VASILCHUK Yu.K.

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

VASILCHUK A.C.

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

REPINA T.Yu.

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

Ключевые слова:

криолитозона; миграционные бугры пучения; крупнобугристые торфяники; Средняя Сибирь; Северный полярный круг.

Key words:

permafrost zone; palsa; peat bogs; Middle Siberia; Arctic circle.

Аннотация

Образование и деградация сильнольдистых торфяных бугров пучения — весьма опасные процессы для освоения нефтяных, газовых, полиметаллических, алмазных, золотых и прочих месторождений Заполярья Средней Сибири. В статье рассмотрены особенности развития миграционных торфяных бугров пучения в этом регионе. Показано, что они развиты вплоть до самых северных районов Таймыра — до 75–76° с.ш.

Введение

Средняя Сибирь — физико-географическая страна, территориально совпадающая с Сибирской платформой и расположенная в Северной Азии между долиной р. Енисей с запада, Верхоянским хребтом с востока, берегами Карского моря и моря Лаптевых с севера и горами Южной Сибири с юга. Площадь ее территории составляет около 4 млн кв. км. Максимальная протяженность с севера на юг — 2800 км, с запада на восток — 2500 км. Большую часть страны занимает Средне-Сибирское плоскогорье.

В заполярной части Средней Сибири расположены Северо-Сибирская низменность и горы Бырранга, находящиеся на полуострове Таймыр (рис. 1). Для заполярных районов Средней Сибири характерны резко континентальный климат и повсеместное распространение многолетнемерзлых пород.

Целью настоящей статьи является описание результатов исследований миграционных бугров пучения (пальза*) на северном пределе их ареала в заполярных районах Средней Сибири, в которых большинством исследователей развитие пальза не предполагается.

1. Особенности инженерно-геологического освоения территории

На территории полуострова Таймыр сосредоточены крупнейшие в мире месторождения (см. рис. 1) медно-никелевых руд (Талнахское и Октябрьское), имеются уникальные по своим масштабам месторождения технических (импактных) алмазов (Ударное, Скалистое, Анабарское), самостоятельные месторождения благородных металлов, апатит-магнетитовых руд с танталониобатами, свинцово-цинковые месторождения, сосредоточены большие запасы твердого топлива (общие запасы бурого и каменного угля оцениваются в 500–700 млрд т) и многие другие. Основа минераль-

Abstract

Formation and degradation of very icy palsa are very dangerous processes for developing oil, gas, polymetallic, diamond, gold and other deposits in the Polar region of the Middle Siberia. The article considers the palsa development features in this region. It is shown that the palsa distribution reaches the northernmost areas of the Taimyr Peninsula i.e. 75–76° N.

* Термин пальза используется во всех языках мира: английском, немецком, испанском, датском, голландском, финском и др., он заменяет сложную вербальную конструкцию: миграционные бугры пучения на торфяниках.



Рис. 1. Карта-схема распространения миграционных бугров пучения и объектов строительства и другой хозяйственной деятельности в заполярных районах криолитозоны Средней Сибири. Массивы многолетнемерзлых миграционных торфяных бугров: Ан-Мх — долины рек Анабар, Оленек, Котуй, Попигай, Марха; Ас-Ба — пальза на озерах Астрономическое, Белое, Барометрическое; Ду — Дудинка; Иг — Игарка; Ла — оз. Лама; Лу — Лукунский лес; Но — р. Новая (Ары-Мас); Та — р. Талнах; Ту — р. Турумакита; Фо — р. Фомич; Ша — севернее мыса Шайтанский. Инженерно-геологические объекты: АН — Анабарское россыпное алмазное месторождение; HP — Норильский горнодобывающий узел (Талнахско-Октябрьское месторождение); ПА — Паяхское нефтяное месторождение; ПО — Попигайское месторождение импактных алмазов; ПЯ — Пясинское угольное месторождение; СД — Сырдасайское угольное месторождение; ХА — Хатангское месторождение бурых углей (нефтяные залежи: Нордвикская, Ильинская и Кожевниковская); ОЛ — Оленекское месторождение природных битумов; ХТ — Хантайская и Усть-Хантайская ГЭС, ЧЕ — Челюскинское золотоносное месторождение; ЧЯ — Черноярское угольное месторождение

но-сырьевой базы Таймыра — комплексные платино-медно-никелевые руды. Более половины всех запасов никеля, меди, кобальта и металлов платиновой группы России сосредоточены в пределах Таймырского округа. Все разведанные запасы сосредоточены в Норильском промышленном районе.

На Таймыре и сопредельных территориях открыты десятки месторождений нефти и газа (Мессояхское, Пеляткинское, Сузунское, Тагульское, Пайяхское и др.).

В результате проведения сейсморазведочных работ в северо-западной части Сибирской платформы выявлена крупная нефтегазоперспективная структура — Северо-Пясинский вал. В Хатангском районе на левобережье Хатангского залива открыты нефтяные залежи (Нордвикская, Ильинская и Кожевниковская). На юге Усть-Енисейского и Дудинского районов на левобережье реки Енисей (в 110–120 км от города Дудинки) находится Сузунское газонефтяное месторождение, сейчас подготовленное к разработке. Рядом с Сузунским месторождением ведутся сейсморазведочные работы на высокоперспективном Пендомаяхском участке с ресурсным потенциалом 60 млн т условных углеводородов. На правобережье р. Енисей в его низовьях открыта нефтяная залежь на Пайяхском месторождении. В бассейне реки Оленек расположено Оленекское битумное месторождение, являющееся одним из самых значительных по масштабам битумных полей, выявленных в Средней Сибири.

Здесь имеется широкий спектр месторождений нерудных полезных ископаемых — сырья для строительной, химической и легкой промышленности, приборостроения, декоративно-поделочных и ювелирных камней, высококачественного мусковита и флогопита. В восточной части Таймыра отмечаются мощные пласты каменной соли.

Одним из весьма перспективных угленосных районов является Таймырский угленосный бассейн, в котором располагаются месторождения Слободское, Крестьянское, Сырадасайское ($73^{\circ}30'30''$ с.ш., $80^{\circ}31'28''$ в.д. — близ поселка Диксон), Пясинское (на Западном Таймыре) и Черноярское (на Центральном Таймыре). Значительные запасы и ресурсы выделяют

эти месторождения как перспективные в отношении разработки коксующихся углей. В пределах Таймырского угольного бассейна расположено месторождение графитов и термоантрацитов.

Угольные пласты установлены по берегам Гафнерфиорда, в береговых обнажениях рек Фомина, Траутфеттер, озера Цыганское Сердце, в районе реки Ленинградской. В пределах Анабаро-Хатангского угленосного района разведаны до промышленных категорий два месторождения — Каякское и Хатангское.

Каякское месторождение каменного угля располагается на реке Котуй в 90 км от поселка Хатанга. В непосредственной близости от этого поселка разведано Хатангское месторождение бурых углей ($71^{\circ}59'$ с.ш., $102^{\circ}30'$ в.д.).

В восточной части криолитозоны находятся крупнейшие месторождения рудных полезных ископаемых — медно-никелевые ($69^{\circ}20'$ с.ш., $88^{\circ}13'$ в.д. рядом с Норильском), полиметаллические ($69^{\circ}30'$ с.ш., $87^{\circ}24'$ в.д. — Талнахско-Октябрьское месторождение). В Норильском районе разведано более 10 месторождений полиметаллических руд. Разработки здесь ведутся как открытым, так и закрытым способом.

На побережье полуострова Челюскин и на дне пролива Вилькицкого (в Челюскинском золотороссыпном районе) выявлены три золотоносных узла с содержанием золота от 0,7–0,8 до 1,5–2,0 г/м³. Главные геолого-промышленные типы россыпей здесь — долинный аллювиальный, депрессионный полигенный и прибрежно-морской.

На северо-востоке региона располагается одно из крупнейших в мире месторождений импактных алмазов — Попигаевское ($71^{\circ}39'$ с.ш., $111^{\circ}11'$ в.д.).

В Заполярье Средней Сибири построены крупные Хантайская ГЭС и Усть-Хантайская ГЭС на реке Хантайке (68.08° с.ш., $87^{\circ}46'$ в.д.). Огромные водохранилища площадью в тысячи кв. км привели к глубокому оттаиванию подземных льдов под ними, в частности к деградации бугров пучения (рис. 2).

Как известно, плотины на водохранилищах в криолитозоне отличаются высокой степенью аварийности, достигающей 70–90%, с частыми утечками воды, прорывами плотин и бортовых примыканий. Особенно важен учет температуры и льдистости пород на плотинах и водохранилищах, расположенных в пределах территорий развития бугристых торфяников. К водохранилищам, на переформирование ложа и берегов которых существенное влияние оказывают геокриологические процессы, относится вышеупомянутое Хантайское. На этом крупном водохранилище в течение примерно 30 лет эксплуатации не было ни одной катастрофической аварии и разрушения, что свидетельствует о его высокой надежности и безопасности. Однако периодически отмечались частичные локальные отказы и кратковременные аварийные режимы работы системы «плотина — водохранилище» в результате локальных отказов ее отдельных элементов, связанных с задержкой наполнения водохранилища до проектных отметок нормального проектного уровня.

Борта и ложе Хантайского водохранилища в значительной части сложены мерзлыми и тальными четвертичными отложениями, в которых широко представлены органо-минеральные и торфяные грунты. Мощ-



Рис. 2. Миграционные многолетнемерзлые торфяные бугры пучения на I надпойменной террасе р. Хантайки [8]



ность многолетнемерзлых толщ здесь изменяется в диапазоне 15–60 м, среднегодовая температура пород составляет минус 1–2°C, реже понижается до минус 3°C. Данное водохранилище было создано в 1970 г. после перекрытия грунтовой плотиной узкого створа р. Хантайки в районе Большого порога. Более 80% берегов водохранилища представлено тремя типами абразионных сильноподрабатываемых берегов: (1) термоабразионными с наличием уступов и волноприбойных ниш в оттаивающих берегах; (2) плавучими органично-минеральными торфяными берегами и островами, быстро оттаивающими и разлагающимися под воздействием теплового и волнового влияния водохранилища; (3) термокарстовыми берегами с ярко выраженными провальными явлениями и проседаниями откосов с формированием многочисленных озер и западин, заполненных водой, и отдельно стоящих мелких островков, в основном приуроченных к бывшим торфяным и минеральным буграм пучения — пальза и булгунням [8]. Превалирующим процессом в переформировании ложа и дна берегов Хантайского водохранилища является не столько переработка берегов с отступлением бровки для наиболее активных термоабразионных берегов (до 10–15 м/год в первые годы наполнения водоема), сколько почти повсеместная интенсивная термокарстовая переработка затопленного вновь образующегося ложа, характеризующегося наличием до 60% сильнольдистых сильнопросадочных четвертичных отложений при одновременном преобладании (около 60% из последних) озерно-болотных отложений и торфов в разрезах пальза.

Ю.И. Прейс [22] сообщает, что в долине р. Хантайки встречаются мерзлые торфяные бугры высотой от 1 до 11 м. Торфяные залежи характеризуются глубиной от 1 до 6 м. Бугры сложены преимущественно низинным торфом. Лыдность торфяных залежей составляет 80–90%. В буграх под слоем торфа залегает сильнольдистое мерзлое минеральное ядро. На границе между торфом и грунтом часто имеется линза чистого льда толщиной обычно до 1,5 м.

В зоне затопления Хантайского водохранилища под дном залива Сиговый очень быстро развиваются талики, связанные с интенсивным вытаиванием льдонасыщенных озерно-болотных суглинков и крупнобугристых торфяников (см. рис. 2). Берега подвергаются интенсивному воздействию термоденудационных и динамических процессов (размыванию, переотложению минеральных грунтов), а в акватории наблюдается массовое всплытие, дальнейшее разрушение и переотложение торфяников [19].

Отметим еще одно опасное посткриогенное явление, которое неизбежно возникает при затоплении торфяных бугров пучения водами водохранилищ. Торфяная залежь в начальной стадии находится в мерзлом и закоренном состоянии. Под отепляющим влиянием воды и ударов волн от неподвижного торфяного мерзлого острова отрываются участки всплывшей залежи, которые начинают блуждать по водохранилищу, постепенно смещаясь при воздействии ветра в сторону его преобладающего направления. Нередко и сами торфяные острова дрейфуют в полупогруженном состоянии, что особенно опасно для нормальной работы ГЭС и судоходства [15].

Развитие таких промышленных гигантов, как Норильский комбинат и др., требует развития всей инфраструктуры районов их расположения, включая дороги и трубопроводы, что неизбежно связано с освоением территорий развития выпуклобугристых торфяников.

Пучение — одно из наиболее широко распространенных явлений в криолитозоне и даже вне ее в пределах территорий сезонного промерзания, где она часто связана с сегрегационным льдовыделением в сезонноталом слое зимой. Интенсивность пучения связана с количеством влаги, мигрировавшей в зону промерзания, и скоростью промерзания. Особенно заметно пучение проявляется при длительном периоде медленного снижения температуры, достаточного для формирования кристаллов льда, которые повышают объем замерзающей воды, а следовательно и грунта, на 9–11%, отрицательных температурах поверхности грунта в осенне-зимний период, в присутствии влаги и при наличии пучинистых грунтов. Сочетание этих факторов характерно для многих районов Средней Сибири, что является причиной очень широкого распространения бугров пучения (пальза) в этом регионе.

Сосредоточение месторождений нефти и газа в северных районах Сибири обуславливает необходимость строительства надежных трубопроводов в неблагоприятных грунтовых условиях. Большая протяженность этих линейных объектов ведет к тому, что они неизбежно пересекают участки с различными мерзлотно-грунтовыми условиями, в т.ч. и области развития бугров пучения. При образовании пальза значение неравномерности площадного пучения возрастает с 3–4 до 30–40% и более. При этом многолетние бугры пучения являются одной из самых распространенных форм мерзлотно-грунтового рельефа. Поэтому при выборе трасс трубопроводов необходимо учитывать особенности процесса пучения в целом и особенно пальза в частности.

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

2. Районы распространения миграционных бугров пучения (пальза), располагающиеся севернее Полярного круга

В предыдущих публикациях, посвященных пальза [4, 5, 6, 34], авторы отмечали, что южный и северный пределы ареала миграционных торфяных бугров пучения заметно шире, чем это принято считать, как для Европейского Севера России, так и для севера Западной Сибири.

Таблица 1

Температура воздуха на метеостанциях заполярных районов Средней Сибири, ближайших к описанным миграционным буграм пучения [21]					
Место расположения метеостанции	Среднемесячная температура, °С		Сумма температур		Среднегодовая температура, °С
	января	июля	зимних	летних	
оз. Таймырское	-33,1	6,5	-5747	470	-14,5
р. Таймыр (устье)	-31,0	4,7	-5589	290	-14,6
оз. Лама	-30,1	12,6	-4480	1053	-9,5
г. Дудинка	-28,0	12,8	-4667	965	-10,2
г. Игарка	-28,6	14,8	-4351	1195	-8,7

Данные, полученные в последние годы на севере Средней Сибири, включая полуостров Таймыр и плато Путорана, Ж.М. Белорусовой, В.В. Украинцевой, А.Б. Чижовым, А.Ю. Деревягиным, Т.Ю. Репкиной, Т. Александерсон, Т.Т. Ефремовой, С.П. Ефремовым, И.Н. Поспеловым, Т.Н. Мельниченко и др. [3, 9, 13, 19, 32, 33 и др.], дают основание говорить о существенном смещении на север границы ареала пальза, вплоть до побережья Северного Ледовитого океана и даже на арктические острова.

Для строительства линейных и крупных локальных объектов особенно значимы следующие характеристики бугров пучения: распространение (южный и северный пределы ареала), льдистость, динамика роста, цикличность пучения и просадок.

2.1. Крупнобугристые торфяники (пальза) на Таймырском полуострове

Ранее считалось, что на Таймыре бугров пучения миграционного типа (пальза) нет. Однако работы последних лет заставили пересмотреть эту точку зрения. Х. Александерсон с коллегами [32] описали пальза высотой до 1,5–2,0 м и диаметром около 5,0 м в нескольких районах Таймыра — близ озер Астрономическое, Белое, Барометрическое (75–76° с.ш., 96–102° в.д.). Указанными авторами было описано более семи местонахождений пальза по берегам этих озер — в условиях арктической тундры при среднегодовой температуре минус 14,5°С (табл. 1) и с практически полным отсутствием кустарниковой растительности.

Скопления голоценовых торфяных бугров высотой до 3–4 м встречены Ж.М. Белорусовой и В.В. Украинцевой [3] на третьей террасе (в 5 км от реки) в долине р. Новой на востоке Таймыра (72°30' с.ш.). Видимая мощность торфа, подстилаемого вязкой при оттаивании сильнольдистой супесью или серым суглинком, не превышает 2,5 м. Накопление торфа на контакте с супесью на глубине 2,1–2,2 м началось, по результатам разных датировок, 6670±90 или 6695±80 лет назад (табл. 2). В интервале глубин 1,20–1,25 м возраст торфа составляет 5860±60 лет. Накопление верхних слоев торфа на глубине залегания 0,2–0,4 м происходило 5495±80 лет назад. Средняя скорость накопления двухметрового слоя торфа составляет 1,5–1,6 мм в год. Скорость роста слоя торфа в нижней части залежи (в интервале глубин 2,1–1,3 м) равна примерно 1 мм в год, а в верхней части (1,2–0,4 м) — 2,2 мм в год [1, 3].

Н.И. Кузнецов [18] указывает, что в долине р. Енисей севернее Шайтанского мыса (72°05' с.ш.) им

встречены сравнительно крупные (высотой до 1,5 м) торфяные бугры, группами располагающиеся по оврагам, глубоко прорезывающим тундру. Эти бугры, в свою очередь, прорезаны глубокими трещинами, которыми торф разбит на глыбы. В них удалось найти остатки мхов и мелких кустарников, но древесных остатков не было. В той же работе отмечается, что В.В. Ревердатто находил севернее с. Потаповского бугры с остатками берез диаметром до 10 см.

На полуострове Таймыр в 2004 г. Т.Ю. Репкина и С.Н. Калачев описали бугры пучения в 15 км севернее озера Лама (около 70° с.ш., 90°15' в.д.), примерно в 120 км восточнее г. Норильска. Абсолютная высота этой местности составляет от 110 до 170 м, среднегодовая температура воздуха равна минус 9,5°С (см. табл. 1). Данный участок находится на правом берегу реки Южный Икэн в 3 км выше ее впадения в реку Микчангда. Здесь на абсолютной высоте от 110 до 140 м были встречены крупные бугры пучения, вероятно, миграционного типа. На пологонаклонной поверхности позднечетвертичной равнины, расчлененной ложбинами с плоскими мокрыми днищами (с врезами 2–3 м), наблюдались единичные термокарстовые озера и бугры пучения высотой 1–3 м. Растительность в пределах равнины — карликовая береза, редкие лиственницы, ягодники, багульник. На увлажненных участках и днищах ложбин появляется торф мощностью до 0,2–0,3 м.

На днище одной из плоскодонных ложбин отмечена группа бугров пучения (рис. 3). Ширина днища — около 70 м. Борты ложбины асимметричны: левый (северный) борт имеет уклон 5–7°, правый (южный) имеет уклон 10–15°. Нижние части склонов закрыты торфом, высота кочек — до 0,2–0,3 м, растительность — мох, кустарнички. Ложбина сложена валунными суглинками. Днище ее влажное, местами заболоченное, местами в нем стоит вода. Бугры пучения расположены по центру ложбины, группируются в две субпараллельные ей гряды («батонь»). В правой гряде имеется шесть бугров (общей протяженностью около 120 м), в левой — четыре (общей протяженностью около 80 м). У северных склонов гряд есть следы и остатки небольших снежников. Максимальная высота бугров составляет 5–6 м. Их высота уменьшается к центру ложбины. Здесь в уступах высотой до 0,5–0,7 м обнажается темно-коричневый слоистый торф. Склоны гряд, обращенные к центру ложбины, пологие, противоположные имеют угол наклона до 30°. На одном из тыловых склонов под съехавшей дерниной обнажается торф видимой мощностью около 1,5 м. Понижения, разделяю-



щие гряды на отдельные бугры, имеют U-образный поперечный профиль, наклонены к центру ложбины, имеют ширину 4–5 м, глубину от 0,5 до 1,5–2,0 м (наиболее глубокие из них привязаны к уровню подъема воды в периоды паводков), следов течения воды нет. С поверхности бугров повсеместно залегает торф (есть обнажение с торфом высотой 1,5 м), который разбит на полигональные отдельности (шириной первые десятки сантиметров). Трещины между этими отдельностями мелкие, неширокие (не более 5 см). Растительность — преимущественно мох, кустарнички. Ближе к центру ложбины на высоте до 1,0–1,5 м от понижения растительный покров разрежен — возможно, до этого уровня бугры заливаются в периоды паводков.

На высокой равнине севернее озера Лама (на правом берегу р. Мигчангды в районе впадения р. Южный Икэн) встречены многочисленные бугры высотой до 3–5 м и, возможно, выше (рис. 4). Торфяной покров (мощностью до 0,2–0,3 м) распространен на увлажненных участках и в днищах ложбин, здесь наблюдаются единичные термокарстовые озера, бугры пучения и их группы. Растительность представлена карликовой березой, редкими лиственницами, ягодниками и багульником. Сходные по облику бугры развиты в низовьях



Рис. 3. Миграционные многолетнемерзлые бугры пучения на северном пределе ареала — в 15 км севернее озера Лама на плато Путорана (п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)

р. Мигчангды на заболоченной поверхности террасы по правому берегу реки (рис. 5).

Севернее — на р. Агапе (притоке р. Пясины) — в районе 70°30' с.ш. были описаны мелкие торфяные бугры высотой до 1,5 м. Здесь же располагался высокий булгуннях (высотой до 20 м).

Таблица 2

Радиоуглеродные датировки миграционных торфяных бугров пучения заполярных районов Средней Сибири					
Район	Высота бугра, м (№ бугра)	Глубина, м	Радиоуглер. дата, лет	Лабораторный индекс (номер)	Источник данных
п-ов Таймыр, долина р. Новой, р-н Ары-Мас	3–4	0,3	5495±80	ИМСОАН	[3]
		1,2	5860±60		
		2,1	6670±90		
		2,1	6695±80		
Низовья реки Турумакит	7	0,7	8240±60	ИГАН-3679	Личное сообщение Ф.А. Романенко (МГУ им. М.В. Ломоносова)
Долина р. Енисей, район г. Игарки	3	0,5	3930±50	КРИЛ-125	[26]
		0,5	5140±60	КРИЛ-119	
		0,6	5200±60	КРИЛ-120	
		1,0	5410±60	КРИЛ-122	
		1,3	5450±60	КРИЛ-123	
		1,5	7330±80	КРИЛ-118	
4,5 км к СВ от г. Игарки	-	0,4	4850±50	-	[17]
		1,8	8210±250	-	
Долина р. Енисей, район г. Дудинки	3 (бугор № 1)	0,4	5410±60	КРИЛ-129	[26]
		0,5	5515±60	КРИЛ-130	
		0,6	5890±60	КРИЛ-131	
		0,7	6280±70	КРИЛ-132	
		0,8	6800±70	КРИЛ-133	
Долина р. Енисей, район г. Дудинки	3 (бугор № 2)	0,5	6170±70	КРИЛ-136	[26]
		1,2	7060±70	КРИЛ-138	
		1,2	7050±70	КРИЛ-135	
		1,5	7260±80	КРИЛ-137	
		1,6	7940±80	КРИЛ-134	



Рис. 4. Миграционные многолетнемерзлые бугры пучения на северном пределе ареала на правобережье р. Мигчангды в районе впадения р. Южный Икэн (плато Путорана, п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)

В.И. Гребенец с соавторами [11] встретили небольшой бугор пучения (рис. 6) диаметром 20–30 м и высотой до 1,5 м в Норильском районе на вальковской озерно-аллювиальной террасе (на площадке Талнах с координатами примерно 69,5° с.ш., 87,4° в.д.). Климат этого района может быть отнесен к субарктическому. Среднегодовая температура воздуха здесь равна минус 9,8°C, количество осадков составляет примерно 300–400 мм. Большая часть поверхности на указанном участке занята типичной тунд-



Рис. 5. Характер распространения многолетнемерзлых миграционных бугров пучения на северном пределе ареала в низовьях р. Мигчангды (плато Путорана, п-ов Таймыр, фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 6. Миграционный многолетнемерзлый торфяной бугор на высокой позднеплейстоценовой террасе близ г. Норильска (фото В.И. Гребенца)

рой, редко встречаются лиственничные редины. За период с 2005 по 2010 г. на Талнахе отмечено некоторое увеличение глубины сезонноталого слоя, но в этот период отмечены годы, когда наблюдалось и сокращение мощности сезонноталого слоя (2007 и 2009 гг.).

Многолетние бугры пучения в долинах рек Норильская и Рыбная приурочены к крупным болотным массивам. В районе истока реки Пясины минимальная среднегодовая температура пород зафиксирована в торфяниках (минус 6,7–7,8°C), что связано со значительным охлаждающим воздействием мощного слоя торфа, отсутствием древесно-кустарниковой растительности и маломощным снежным покровом [2].

В Норильском районе В.Н. Сакс [24, 25] описал группу торфяных бугров высотой до 6–7 м. Они сложены торфом до глубины 0,8 м, ниже — мерзлыми суглинками и супесями. Иногда они вытянуты в виде гряд, иногда имеют округлую форму, но всегда встречаются значительными группами, приуроченными к озерным и речным террасам.

В долине р. Норильской близ г. Норильска Н.Я. Кац [14] описал крупные бугры, разделенные заросшими лесом понижениями, а иногда озерами. Эти бугры весьма напоминают по растительности торфяные бугры в долине р. Игарки. Но они, по мнению Н.Я. Каца, или целиком минеральные, или содержат лишь отдельные линзы торфа. Л. Шумилова [27] считает бугры в долине р. Норильской торфяными.

Т.Т. Ефремова и С.П. Ефремов [13, 33] исследовали бугристые торфяники у озера Бурового в окрестностях города Кайеркана (69°22' с.ш., 87°44' в.д.), у озера Вологочан вблизи аэропорта Алыкель (69,31° с.ш., 87,31° в.д.), на мысе Блудном на озере Мелком (69,49° с.ш.). Общий признак для всех этих крупнобугристых торфяников — чередование бугров, т.е. возвышенных мерзлых участков торфяного массива с тальми понижениями. Высота бугров варьирует от 1 до 5 м (рис. 7). Мощность их торфяных залежей — 1,0–2,6 м. Под торфом находится мерзлое минеральное основание, возвышающееся над уровнем мочажин. Глубина торфа в мочажинах — от 0,8 до 3,0 м. В растительном покрове бугров довольно часто встречаются лиственница, ель, береза. В травяно-кустарничковом покрове преобладают багульник, карликовая береза, меньше представлены морошка, брусника, голубика.

Термокарст на мерзлых органогенных и рыхлых минеральных породах, связанный с разрушением сегрегационного льда, обуславливает образование провальных форм рельефа. Разновысотные торфяные бугры с минеральным ядром чередуются со вторичными озерами и озерами, имеющими то торфяные, то торфяно-минеральные или минеральные днища [33].

На крупных торфяных миграционных буграх Норило-Пясинского озерно-болотного бассейна мощность торфяного слоя колеблется от 2,5–5,5 до 7–8 м. В наиболее зрелых тальных мочажинах его мощность находится в пределах 2,0–4,5 м. Массив данных бугров находится под влиянием промышленной деятельности человека, обусловленной функционированием ОАО «ГМК «Норильский никель»» — он интенсивно загрязняется серой в комплексе с тяжелыми металлами [13].

Т.Н. Мельниченко [19] выполнила исследования в бассейнах рек Большой Авам, Эндэ, Иркинга, Хантай-



ка, в районе хребта Хараелах, озера Кутарамакан и пришла к выводу, что антропогенная нагрузка в условиях развития многолетнемерзлых пород значительно нарушила естественное состояние ландшафтов Субарктики, привела к гибели многих компонентов биоты, изменила биохимические процессы в почве и тем самым оказало воздействие на криогенное рельефообразование. Ею показано, что, несмотря на общую тенденцию к деградации многолетнемерзлых пород, на поверхности крупнобугристых торфяников вне зоны техногенного воздействия прослеживается интенсивное морозобойное растрескивание и накопление эпигенетических повторно-жильных льдов. На трассе «мертвой» железной дороги Салехард — Норильск усиление процессов термокарстообразования привело к сильному заболачиванию прилегающей территории, деградации многолетнемерзлых пород, пенеппленизации насыпи дороги на многих участках, развалу и полному уничтожению мостов. Вдоль трассы ЛЭП Светлогорск — Игарка — Норильск в зависимости от техногенных нарушений и соотношения комплекса локальных факторов происходит либо деградация многолетнемерзлых пород, либо аградация. Сведение древесной растительности и нарушение мхово-лишайникового покрова привело к увеличению глубины сезонноталого слоя (СТ) в 1,5–2,0 раза [19].

На территории Норильского промышленного района наблюдается уничтожение почвенно-растительного покрова, гибель живых организмов и в целом деградация природных комплексов вплоть до полного их уничтожения вблизи предприятий. Развитие криоморфоскульптуры с учетом скорости протекания криогенных процессов в условиях потепления климата и активного антропогенного вмешательства будет способствовать продолжению активизации термокарста, термоабразии, термоэрозии, солифлюкции и деградации торфяных бугров [19].

2.2. Крупнобугристые торфяники (пальза) Анабарского региона

На территории Анабарского региона (около 70–72° с.ш., 105–115° в.д.) в долинах рек Анабар, Оленек, Ко-

туй, Попигай, Марха, по наблюдениям А.Ю. Деревягина [9], многолетние миграционные (и миграционно-инъекционные) бугры пучения встречаются, но имеют ограниченное распространение и приурочены к заболоченным верховьям ручьев и озерно-болотным котловинам. Их развитие связано с достаточно мощными (до 10–15 м) сильно увлажненными пылеватыми супесчано-суглинистыми отложениями в условиях незначительных гидродинамических напоров. Нередко бугры пучения сгруппированы по 2–3 и ориентированы вдоль проток, имеют овальную в плане форму, размеры от 7–10 до 20–30 м в поперечнике и высоту не более 2–4 м. Они окружены пушицево-осоковым болотом, нередко на их поверхности развит сухостойный «пьяный» лес. Разрез бугров характеризуется наличием суглинистого ядра с объемной льдистостью 50–70%. Частые ледяные прослойки создают тонко- и мелкошпильную слоистую криогенную текстуру. С поверхности бугры перекрыты сильно оторфованной супесью (стр. 211–212 [9]).

В дренированных речных долинах тундровой зоны на склонах Анабарского массива обычно распространены бугристые торфяники. Например, на левобережье реки Фомич в междуречье рек Котуйкан и Рассоха (72°07′ с.ш., 110°33′ в.д.) днища покинутых долин лежат на высоте 500–600 м, т.е. выше границы леса. На таких высотах в современных условиях торфонакопление происходит медленно, и тем не менее высота торфяных бугров достигает 1,6 м. Среди бугров располагаются термокарстовые озера (рис. 8). Иногда встречаются пни и засохшие стволы лиственниц. Последнее указывает на то, что перестройка гидро сети повлияла на деградацию лесной растительности в покинутых долинах. Переход горной тундры к редколесью довольно резок. Нередко у верхней границы редколесья наблюдается сухостой лиственниц, упавшие стволы и вывороченные сухие корни (этот район находится на северной границе лесной растительности, урочище Боронго — последний крупный лесной массив по течению р. Попигай, ниже (севернее) встречаются лишь островки лиственничных редколесий). На северном склоне Анабарского массива тундр больше,



Рис. 7. Миграционные многолетнемерзлые торфяные бугры пучения западнее озера Кета и севернее Хантайского водохранилища на плато Путорана юго-восточнее г. Норильска (68°23′ 1,43″ с.ш., 87°22′ 31,69″ в.д.) (фото К. Шишаева, <http://www.geolocation.ws/v/P/38982515/-/en>)



Рис. 8. Бугристое болото у водораздельного озера в долине реки Попигай, близ ручья Балаганах (фото И. Поспелова, <http://taimyrsky.ru/images/2008/popigay.htm>)



Рис. 9. Крупный многолетнемерзлый торфяной бугор на участке Лукунский в котловине озера Томмот (фото И. Поспелова, <http://taimyrsky.ru/images/2010/luk2010.htm>)

чем редколесий. Безлесны даже многие долины (например, в верховьях р. Рассохи — $71^{\circ}53'$ с.ш., $110^{\circ}45'$ в.д.). На юге указанной территории на скелетных щебенчатых почвах склонов высота деревьев достигает 5–10 м, на севере — 2–5 м. На аллювиальных отложениях террас в южной части встречаются деревья высотой 18 м. На востоке леса поражены гарями. На них растут иван-чай, ольховый кустарник и густой подрост лиственницы.

Крупные торфяные бугры встречаются и в пределах участка Лукунский в котловине озера Томмот на Таймыре ($72^{\circ}49'$ с.ш.) — самого северного лесного участка в мире (район Ары-Мас на несколько минут южнее) (рис. 9).

2.3. Крупнобугристые торфяники (пальза) в долине реки Турумакит на южной окраине Норильского плато

Крупные бугры пучения наблюдались Т.Ю. Репкиной, С.Н. Калачевым и М.Н. Прохоровым на южной окраине Норильского плато в долине реки Турумакит ($68,4^{\circ}$ с.ш., $87,7^{\circ}$ в.д.). Они располагаются выше резкого сужения долины реки в ее верховьях — на участке протяженностью около 4 км на обоих берегах. Эти бугры приурочены, как правило, к террасовидной ступени высотой от 10 до 20 м над урезом воды (с



Рис. 10. Группа многолетнемерзлых бугров пучения на левом берегу реки Турумакит. Стрелками показаны бугры высотой 5 м (а) и 7 м (б), описанные в тексте (фото Т.Ю. Репкиной)

абс. отметками 200–260 м), сложенной валунными суглинками предположительно раннесартанского возраста. Группы из нескольких бугров встречаются в осложняющих эту поверхность депрессиях, дренируемых ручьями. Днища депрессий влажные, частично заболоченные, с озерами, покрыты травянистой растительностью с зарослями ивняка, а на более сухих участках — с редкими лиственницами; по берегам озер растет осока. Судя по обнажениям в береговых уступах реки, на днищах депрессий валунные суглинки перекрыты озерно-ледниковыми и озерными сизовато-серыми суглинками (от средних до тяжелых) предположительно позднеплейстоцен-голоценового возраста. Под чехлом рыхлых отложений мощностью не более 10–20 м залегают терригенные породы тунгусской серии, прорванные интрузиями основного состава. Иногда бугры или их группы занимают иную геоморфологическую позицию.

На левом берегу р. Турумакит группа из восьми бугров пучения высотой 5–7 м (рис. 10) приурочена к днищу депрессии, расположенному на высоте 2–5 м над урезом воды в реке (абс. отметках 240–245 м). Эта депрессия ограничена с тыла склоном денудационного останца (из интрузивных пород основного состава), а со стороны реки — валом высотой около 6 м, сложенным валунными суглинками и отделяющим депрессию от поймы р. Турумакит. Этот вал прорезан небольшим ручьем, дренирующим депрессию. На ее заболоченном днище обособляются две уплощенные ступени, разделенные уступом. Центр депрессии занимает поверхность с относительной высотой 2–4 м над урезом воды в реке, тыловую часть — с высотой 5–6 м. В пределах верхней ступени и на склоне депрессии (до высоты 13–14 м над урезом воды) в русле ручья вскрываются плотные сизо-серые суглинки, а в его бортах — залегающий на этих суглинках торф мощностью до 0,3 м, перекрытый темно-серыми легкими-средними суглинками мощностью до 0,5 м, вероятно, склонового генезиса.

Бугры пучения расположены на обеих высотных ступенях как в центральной части депрессии, так и вблизи ее бортов. Последние, как правило, сочленяются со склонами депрессии перемычками, сниженными относительно поверхности бугров на 1–3 м. Поверхность бугров чаще всего покрыта растительностью



(ерником, ягелем, морошкой, шикшей, на бугре в центре депрессии — также единичными покосившимися листовницами). Некоторые бугры обнажены. Их склоны преимущественно задернованы.

Бугор пучения диаметром около 10 м и высотой 5 м (см. рис. 10) расположен на верхней ступени на относительной высоте около 5 м. Его склоны задернованы (покрыты ерником, кустарничками), у северного склона в пойме ручья расположено небольшое озеро, не примыкающее к склону бугра. Вершинная поверхность этого бугра в своей верхней части (диаметром около 3 м) лишена дернины. Лишь в полигональных трещинах сохранились куртинки растительности — ягеля, шикши, морошки. Поверхность разбита на 5–6-гранные полигоны с размерами граней около 1,5 м. Ширина трещин — до 15 см, глубина — 5–10 см. Ближе к склонам трещины углубляются, несут следы обработки струйчатой эрозией. В закопушке вскрыт плотный слоистый торф от темного до буро-коричневого цвета, с неперегнившими остатками растений, мерзлый с глубины 40–45 см.

Вблизи выхода ручья из депрессии расположен бугор диаметром около 20 м и высотой 7 м (рис. 11).

Вершинная поверхность бугра задернована (покрыта ягелем, багульником, кустарничками, мелкими кустиками ерника), слегка кочковата (высота кочек — до 0,2 м), разбита на 5–6-гранные полигоны с длиной граней 2–3 м трещинами глубиной до 10 см и шириной до 20 см. Трещины маркируются более высоким (до 15–20 см) ерником. Склоны бугра внизу покрыты кустарничками, в т.ч. морошкой, и травянистой растительностью, а выше — ерником и кустарничками. Его южный склон соединен со склоном долины перемычкой, сниженной относительно поверхности бугра на 3,0–3,5 м. На поверхности этой перемычки сквозь разрывы дернины видны валунные суглинки. Северный склон бугра, опирающийся на пойму ручья, при паводочных уровнях подрезается водотоком. На склоне наблюдаются крупные (длиной 1,5–2,0 м, шириной до 1,0 м, мощностью 0,6–0,7 м) отседающие блоки торфа, перекрытого дерниной.

В июле 2007 г. в прирвовочной части северного склона бугра была сделана расчистка, вскрывшая под маломощным дерново-растительным слоем три гори-



Рис. 11. Миграционный многолетнемерзлый торфяной бугор пучения высотой 7 м в долине реки Турумаки (фото Т.Ю. Репкиной)

зонта торфа общей мощностью 77 см (рис. 12, 13). Залегание торфа повторяет уклон поверхности бугра. Сверху вниз по разрезу торф становится более светлым, менее разложившимся, возрастает мощность его отдельных прослоев. Так, торф верхнего горизонта (на глубине 3–30 см от поверхности) темно-коричневый, разложившийся, с мощностью прослоев 1–2 см. Ниже (30–50 см) чередуются темно- и светло-коричневые прослои (мощностью по 1–2 см) слаборазложившегося торфа, включающего неперегнившие остатки растений. В верхних горизонтах торфа встречены единичные окатанные (до 3 класса) обломки терригенных пород галечниковой размерности. В подошве пачки (на глубине 50–77 см) залегает очень слабо разложившийся торф с остатками растений светло-буро-коричневого цвета (внизу — светло-палево-коричневого). Мощность его отдельных прослоев составляет 4 см. С глубины 67 см торф мерзлый. Для горизонта 65–67 см Ф.А. Романенко была получена радиоуглеродная дата, равная 8240 ± 60 лет (см. ИГАН-3679 в табл. 2).

В 2008 г. на том же бугре расчистка была продолжена и было вскрыто его ледогрунтовое ядро (см. рис. 13, рис. 14). За год в результате нарушения почвенного и растительного покровов кровля мерзлых пород опустилась в месте расчистки на 35 см. Полностью протаяла подошва торфа, на 25 см — верхняя часть пачки залегающих под ними суглинков. В минеральной части разреза выделяются 4 пачки, накопившиеся в разных фациальных условиях. Залегание изменено процессами пучения. Верхняя пачка (горизонты 5–8 общей мощностью 28 см на глубине 77–105 см) — пере-



Рис. 12. Разрез верхней части 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумаки. Радиоуглеродная дата для контакта торфа и подстилающего его минерального грунта составила 8,2 тыс. лет (фото Т.Ю. Репкиной)

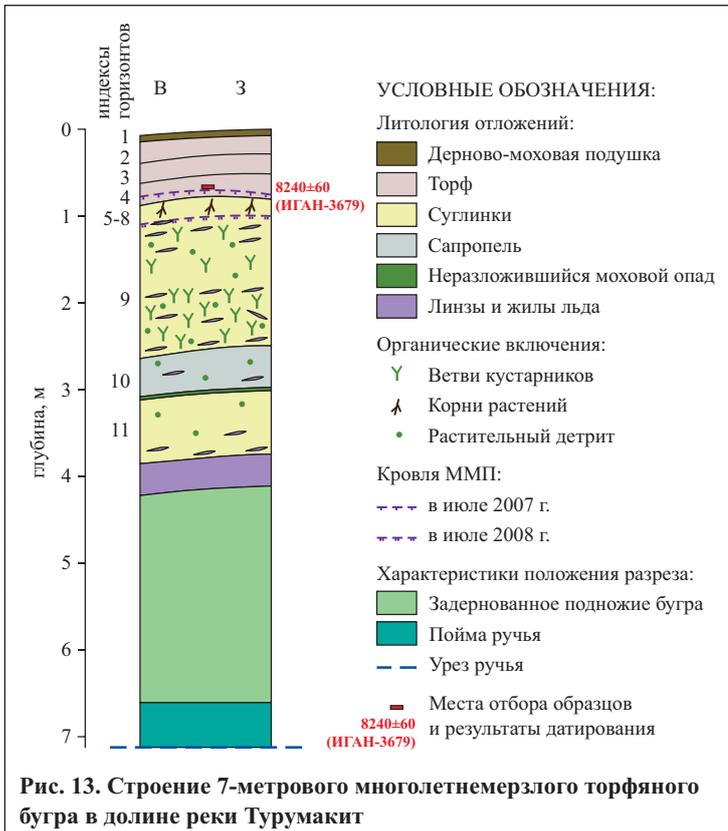


Рис. 13. Строение 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит



Рис. 14. Ледогрунтовое ядро в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)

сливающиеся коричневато-темно-серые и зеленовато-желто-серые средние суглинки, содержащие корни растений разной степени сохранности, с мощностью прослоев 3–10 см. В 2007 г. суглинистые отложения находились в мерзлом состоянии. В 2008 г. в верхней части пачки суглинки были немерзлыми, влажными; нижний горизонт мощностью 3 см был мерзлым, малолдыстым. В подошве появляются шлиры льда толщиной до 1 см, залегающие в плоскости контакта с нижележащей пачкой. Ниже, на глубине 105–248 см (горизонт 9 мощностью 143 см), вскрыты неявно слоистые сизовато-темно-серые средние суглинки с включениями неразложившихся обломков ветвей кустарников, единичными листовыми шишками, берестой. Наибольшая концентрация обломков — в нижних 70 см пачки. Отмечены пятна оглеения, охристые концентрические пятна, часто приуроченные к фрагментам коры кустарников. В оттаявшем состоянии цвет отложений изменяется на шоколадно-коричневый, появляется сильный запах сероводорода. Пачка наклонена на север — синхронно поверхности бугра. Угол падения возрастает сверху вниз от 10 до 30–35°. Суглинки льдистые, с отдельными шлирами и линзами льда мощностью до 2,5–3,0 см. Наибольшая льдистость — в верхней части горизонта и в слое, обогащенном обломками древесины (рис. 15). К последним часто приурочены линзочки льда (рис. 16). Суглинки подстилаются слоистым сапропелем с редкими остатками растительного детрита (горизонт 10 мощностью 50 см на глубине 248–298 см), льдистым, с единичными шлирами льда мощностью до 1 см. Цвет суглинков — от желтовато-палево-серого до палево-коричневого. Общий уклон — около 30° на север. На контакте с подстилающим горизонтом — прослой неразложившегося светлого мха мощностью 1,5–2,0 см. В основании разреза (горизонт 11 вскрытой мощностью 80 см на глубине 298–378 см) залегает суглинок сизовато-серый, неявно слоистый, с единичными включениями тонких белых пленок концентрической формы (вероятно, коры кустарников), льдистый — с субгоризонтальными линзами льда мощностью до 2 см. Суглинки сходны по облику с отложениями, обычными для разреза террасовидной ступени высотой 10–20 м. В подошве горизонта на глубине 378–413 см вскрыт субгоризонтально залегающий серый однородный лед. Основание расчистки на 2,5 м выше подошвы бугра пучения.

Таким образом, в разрезе бугра пучения озерные отложения (суглинки горизонта 11) сменяются после перерыва (вероятно, краткосрочного, маркируемого прослоем неразложившегося мха — подошвой горизонта 10) другими озерными (сапропелем, суглинками горизонтов 5–10), а затем болотными осадками (торфами горизонтов 2–4). Наиболее интенсивное заполнение котловины озера (горизонта 9) происходило в условиях существования на берегах кустарниковой растительности. Образование бугра началось в обстановке обводненного болота (синхронно горизонту 4) не позднее 8240±60 лет назад.

На правом берегу р. Турумакит в вытянутой с северо-запада на юго-восток депрессии с заболоченным дном наблюдались две группы бугров пучения. В ее тыловой части при впадении в нее небольшого



ручья на днище расположена группа из шести крупных бугров пучения (рис. 17). Врез депрессии уменьшается от 10 м в тыловой части до 3–4 м на юго-западе, где она дренируется. Ее днище плоское, по периметру занято ивняком, ближе к центру на нем наблюдаются осоковая растительность и еще не заросшие озера, окаймляющие бугры. Последние имеют правильную округлую форму, иногда слабо вытянуты по простиранию депрессии. Их высота изменяется от 5 м в тыловой части до 3 м на юго-западной стороне. Бугры образуют две группы, разделенные полосой днища с осоковой растительностью шириной несколько метров. Друг от друга бугры отделены узкими понижениями глубиной от 1,0–1,5 до 3–4 м. Наиболее глубокие из них, достигающие уровня воды, маркируются ивняком. Скорее всего, при паводочных уровнях по ним течет вода. Склоны бугров преимущественно задернованы (ерником). На одном из склонов в нижней части присутствует засохшая лиственница. В нижних частях склонов, обращенных к открытой воде или понижениям, покрываемым в паводки водой, наблюдаются торфяные уступы высотой от 1,0–1,5 до 2–3 м, крутые или практически отвесные. Вершинные поверхности бугров куполовидные, их наиболее высокие центральные части, как правило, не задернованы. Здесь обнажается коричневый торф и видны полигональные отдельности с размерами граней около 1 м. Между крупными буграми располагаются более мелкие — высотой около 1,5 м и диаметром 1–2 м. Их склоны и вершинные поверхности задернованы.

На днище ручья, впадающего в депрессию, расположен единственный бугор пучения высотой 3,5–4,0 м и диаметром около 7 м, «причленяющийся» к борту ручья. В уступе, обращенном к ручью, обнажается темно-коричневый слоистый торф видимой мощностью около 1 м. Вершинная поверхность бугра возвышается на 1,5–2,0 м. Она представляет собой слабовыпуклый задернованный купол, разбитый полигональными трещинами на 3–5-гранные полигоны. Размеры граней — около 1,0–1,5 м. Глубина трещин — около 5 см, ширина на вершинной поверхности — 2–3 см, а в тех местах склонов, в которых началось сползание дернины, — до 10 см. Растительность представлена ягелем, багульником, куртинами травы, а в полигональных трещинах и на наиболее высоком центральном полигоне преобладает морошка.

В дистальной части той же депрессии вблизи бровки моренной равнины, обращенной к р. Турумакит, расположена группа из пяти бугров пучения. Днище депрессии влажное, на отдельных его участках стоит вода. Бугры пучения имеют округлую или удлиненную форму (их длинная ось ориентирована под углом к оси депрессии) и высоту от 4–5 до 7 м. Склоны бугров преимущественно задернованы (ерником, кустарничками, редко — по ложбинам — ивой). В нижних частях склонов, обращенных к воде, сформировались уступы высотой 1,5–2,0 м, перекрытые темно-коричневым слоистым торфом. Вершинные поверхности бугров куполообразны. Их задернованность существенно различается. На некоторых буграх растительность (ягель, кустарнички, ерник, единичные лиственницы) не нарушена, на некоторых часть вершинной поверхности лишена растительности и об-



Рис. 15. Линзы и шлиры льда в нижней части пачки озерных суглинков в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 16. Линза льда у обломка ветки кустарника в низах пачки озерных суглинков в разрезе 7-метрового многолетнемерзлого торфяного бугра в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 17. Растущие крупные многолетнемерзлые торфяные бугры на правобережье р. Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 18. Самый крупный из встреченных бугор пучения высотой более 7 м в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)



Рис. 19. Трещины в торфе, перекрывающем миграционный торфяной бугор пучения высотой 7 м в долине реки Турумакит (фото Т.Ю. Репкиной)

нажается буро-коричневый торф, разбитый на полигональные отдельности с размерами граней около 1 м. На обнаженных участках растительность (ягель, шикша, багульник) сохранилась в полигональных трещинах.

На наиболее крупном из бугров высотой около 7 м (рис. 18) вершинная поверхность полностью обнажена, разбита на полигональные отдельности с размерами граней до 3 м (рис. 19). Глубина трещин достигает здесь 10–15 см, а ширина — 15–20 см. В обнажающемся торфе хорошо видны отпрепарированные слойки мощностью около 1 см. В полигональных трещинах сохранилась растительность: ягель, багульник, шикша, куртинки злаков. Понижения между буграми U-образны, заняты ивняком. На дне ложбин и склонах бугров пучения на высоте до 0,5 м над днищем понижений видны следы течения воды.

Единичный бугор пучения встречен на мокром заболоченном днище небольшого ручейка вблизи берегового уступа р. Турумакит. Бугор окружен водой. Его диаметр составляет около 20 м, высота — 3,5–4,0 м.

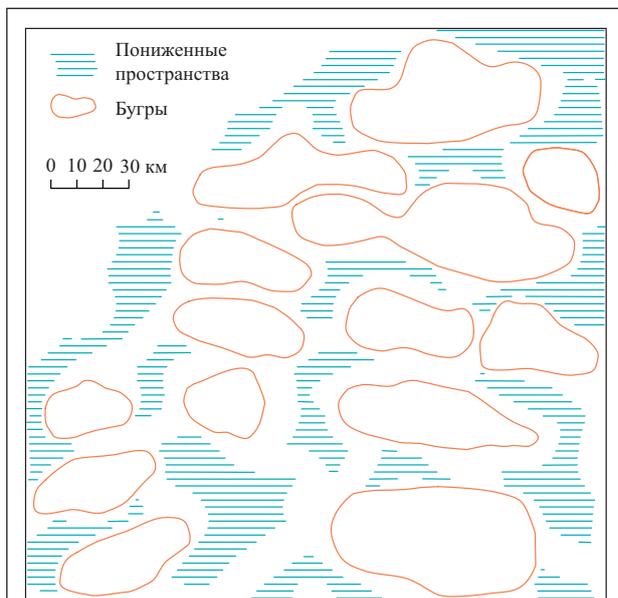


Рис. 20. Разрушающиеся торфяные бугры в пределах заболоченной одряхлевшей «полосы стока» в районе г. Игарки (по [29])

Форма бугра округлая, склоны и вершинная поверхность задернованы (ягелем, ерником, на вершинной поверхности — молодыми кустиками ивы). В нижних частях склонов в полузадернованном уступе виден темно-коричневый торф. Полигональные отдельности не обнаружены. У борта этой ложбины развивается небольшой задернованный бугор пучения высотой около 1,5 м и диаметром до 3 м. Состав растительности на нем тот же, что и на вышеописанном.

О распространении бугров пучения на территории, расположенной между городами Дудинкой и Игаркой и вдоль реки Хантайки, сообщали многие исследователи: Д.А. Драницын [12], Н.И. Кузнецов [18], Н.С. Шевелева и Л.С. Хомичевская [30], хотя некоторые ошибочно относили их к остаточным формам расчленения плоских торфяников (рис. 20).

В.Н. Саксом [24, 25] описаны торфяные бугры, распространенные в границах торфяников на водораздельных плато и террасах Енисея. Высота бугров колеблется от 0,5 до 2–3 м. Сложены они сверху торфом, протаивающим на глубину 0,3–0,5 м. В.Н. Сакс не объясняет способа их образования. Они широко распространены в южной части региона, в частности в дудинской лесотундре.

«Бугристая лайда» (по определению Н.И. Кузнецова [18]) вдоль р. Дудинки представляет хорошо выраженные крупнобугристые торфяники, хотя температуры воздуха и пород здесь весьма низкие (см. табл. 1). Высокие крутобокие бугры здесь имеют высоту до 8 м, диаметр в основании до 20–25 м и чаще вытянутую форму. Более низкие бугры имеют широкое основание и пологие склоны. Понижения между буграми то замкнуты, то образуют извилистые лабиринты. Здесь располагаются или мочажины, нередко с водой, или зарастающие озерки. Торф бугров сложен внизу из остатков мхов (*Drepanocladus*), осок и хвощей, выше — из остатков пушиц и кустарничков. Иногда последние образуют главную массу торфа. В основе такого бугра залегает выпуклое минеральное ядро [12]. В торфе имеются мелкие прослойки льда и береста довольно крупных деревьев. Н.И. Кузнецов [18] также отмечает сложность комплексов «бугристых лайд», т.к. они комбинируются обычно с лайдами других типов.

Вершины бугров — без цветковых растений и покрыты лишь лишайниками и мхами. Среди обычных



в подобных условиях видов растений, таких как *Cladonia*, *C. amaurocrea*, *C. rangiferina*, *C. alpestris*, *Cetraria cucullata*, *Dicranum elongatum*, *Polytrichum strictum*, присутствуют другие виды, например лишайники и мхи *Ceratodon purpureus*, *Pholia nutans*, *Dicranella cerviculata*, наличие которых указывает на сильную деградацию вершин бугров, а может быть, и на пожары [18].

Ниже на буграх появляются багульник, ерник, брусника, морошка, голубика, а мхи и лишайники практически исчезают. Еще ниже кустарнички образуют заросли высотой 40–50 см. Между буграми преобладают влаголюбивые мхи (*Aulacomnium*, *Drepanocladus*) и отчасти сфагновые (*Sphagnum warnstorffii*), а из цветковых обычны багульник, ерник, голубика, а также морошка, подбел, касандра. Крупнобугристые болота вдоль р. Дудинки характеризуются резким преобладанием в растительном покрове бугров [18] — обычных компонентов болотных сообществ средних и северных широт, проникающих здесь далеко в область типичной тундры. Добавим, что бореальные и гипоарктические виды растений доминируют и в мочажинах, и на буграх.

Крупнобугристые болота р. Игарки и р. Дудинки (см. рис. 19) относятся к одному географическому варианту, для которого характерно преобладание (и по числу видов, и по их роли в растительном покрове) бореальных и отчасти гипоарктических видов [18]. Отличие игарских, более южных, болот от дудинских — их более бореальный характер, наличие на буграх деревьев и незначительная роль тундровых лишайников *Cladonia amaurocrea*, *Cetraria cucullata*, *C. nivalis*.

Восточнее крупнобугристые торфяники описаны в районе правых притоков Енисея. Они располагаются в понижениях между горами на склоне коренного берега, обращенного к речным долинам. Бугры здесь округлые или причудливых контуров, имеют плоскую вершину и местами микрорельеф из больших сфагновых подушек. Высота этих бугров составляет 1–3 м, диаметр достигает сотен метров, они сильно преобладают над депрессиями овальной, округлой, реже долинной формы. Ширина депрессий — от 5 до 60–70 м.

На буграх произрастают деревья, главным образом сосна с примесью березы. Сосны встречаются как прямые, высотой 10–12 м, так и искривленные, высотой 2–3 м. Березы имеют высоту 3–4 м. Багульник покрывает 21,8% всей площади бугров, что составляет половину от покрытия кустарничками. Слои торфа параллельны поверхности бугров. Минеральный грунт в основаниях бугров залегает на 2 м выше дна мочажин. Все это показывает, что бугры возникли в результате вспучивания. Торф мочажин глубиной 2,5 м сфагновый и сфагнуво-гипновый, как правило, талый.

Также были описаны болота другого типа — с широкими плоскими буграми высотой 1,5–2,0 м и диаметром до 100 м и мочажинами, занимающими 40–50% всей площади. На буграх произрастают сосна, береза, ель и лиственница. Размер деревьев от 10 до 1 м. На буграх — заросли *Betula exilis* и сплошной покров *Cladonia* и *Cetraria*, сфагновых мхов мало. В депрессиях — эутрофные болота.

Г.С. Константинова [16] исследовала бугры пучения в районе Большого Хантайского порога (см. рис. 18 в работе [6]). Среди бугров пучения ею были вы-

делены торфяные и минеральные. Минеральные бугры пучения встречаются в районе редко и приурочены к окраинным частям озерно-болотных понижений. Высота бугров 5–10 м, форма выпуклая, близкая к круглой, склоны крутые. На склонах деревья нередко наклонены, а стволы их часто имеют саблевидную форму. Бугры сложены мерзлым суглинком, содержащим очень большое количество льда. Молодых минеральных бугров пучения Г.С. Константинова [16] не наблюдала.

Торфяные бугры широко распространены на обширных заболоченных понижениях. Высота бугров достигает 9–10 м, длина варьирует от 5–6 до 50–100 м. Они сложены сверху торфом мощностью от 1–2 до 6–8 м, который подстилается очень льдистыми суглинками или супесями. Бугры имеют различный возраст — встречаются «старые» (почти полностью разрушенные), «средние» и «молодые» (образующиеся в настоящее время).

Старые торфяные бугры встречаются только на водоразделах и древних террасах (на I надпойменной террасе р. Хантайки их нет). Очевидно, слагающий их торф образовался до формирования I террасы. Они характеризуются следующими особенностями [16]:

- крупные торфяные бугры часто расчленены на отдельные останцы в результате интенсивного разрушения термокарстовыми процессами как в прошлом, так и в настоящее время (см. рис. 2);
- торф, слагающий бугры, представляет собой однородную темно-коричневую землистую массу; степень разложения этого торфа — более 80%, в ряде случаев зольных веществ в почве становится достаточно для произрастания древесных пород; на вершинах старых бугров часто встречается лиственница;
- северные и западные склоны бугров часто имеют тонкий слой торфа, т.к. в процессе длительного воздействия термокарста торф обвалился в прилегающие понижения (обычно водоемы); эти склоны обрывисты и покрыты большим количеством трещин;
- мощность торфа на вершинах бугров обычно не превышает 1–2 м.

Торфяные бугры среднего возраста встречаются на I надпойменной террасе р. Хантайки. Очевидно, их возраст ограничивается возрастом I надпойменной террасы. Такие бугры отличаются от старых следующими особенностями:

- торфяные массивы бугров недостаточно четко расчленены на отдельные бугристые останцы; местами (преимущественно у северных склонов) наблюдается развитие термокарста;
- верхние слои торфа имеют среднюю степень разложения (около 40–50%) и состоят преимущественно из остатков гипновых, травяных и хвощево-гипновых низинных мхов;
- мощность торфа на вершинах бугров достигает 4–5 м;
- деревьев на буграх нет;
- на торфяных массивах иногда наблюдается накопление торфа за счет отмирания сфагновых мхов.

Молодые и вновь образующиеся торфяные бугры пучения встречаются на заболоченных пространствах, сверху до глубины 2–5 м сложенных сильно разложившимся торфом. Г.С. Константинова [16] указывает на

то, что молодые бугры могут вырастать до высоты 1,5–2,0 м в течение нескольких сезонов за счет перевавания снега и неравномерного промерзания, но такие бугры существуют недолго вследствие поселения на вершине бугра березы, которая меняет условия снеготранспортировки и приводит к протаиванию и разрушению бугра.

Другим механизмом возникновения молодых бугров Г.С. Константинова [16] считает неравномерное нарастание растительности в процессе заторфовывания болот. Эти бугры формируются чуть дольше, и когда высота бугорков достигает 60–70 см, а диаметр их основания — 3–4 м, под ними формируется многолетнемерзлое ядро мощностью 0,5–1,0 м.

На торфяных массивах и буграх надпойменной террасы в большом количестве встречаются термокарстовые воронки, западины, эрозионно-термокарстовые ложбины и реже озера. Воронки имеют диаметр 3–5 м и глубину от 0,5 до 1,0–1,5 м. Одной из скважин, пробуренных в термокарстовом понижении, был вскрыт мерзлый грунт. Термокарстовые процессы наблюдаются преимущественно у северных и северо-западных склонов, а не у южных, что объясняется тем, что северные склоны сильно заносятся снегом, мало охлаждаются и поэтому на них более благоприятны условия для глубокого протаивания.

На торфяных массивах и буграх Г.С. Константиновой [16] встречены морозобойные трещины, находящиеся на различных стадиях развития. Кроме свежих (с тенденцией к дальнейшему развитию), есть зарастающие и старые трещины, имеющие вид ложбин с пологими заросшими склонами.

Участки бугристых образований южнее р. Хантайки были охарактеризованы сотрудниками Игарской научно-исследовательской мерзлотной станции [20, 23, 29 и др.].

Наблюдения за буграми пучения проводилось А.П. Тыртиковым в 1950 и 1957–1959 гг. в Игарском районе (67°26' с.ш., 86° в.д.), в 1959 г. — в низовьях р. Хантайки (68° с.ш., 87° в.д.) [27, 28]. Этими наблюдениями было установлено, что в ходе развития водно-болотной растительности при зарастании водоемов создаются условия для формирования бугров пучения, которые образуются даже при небольшом поднятии поверхности вследствие локального изменения мощности снежного покрова. С приподнятой поверхности легче сносится снег и сильнее охлаждаются и промерзают грунты, что приводит к значительному пучению.

В зоне северной тайги в 60 км от устья на первой надпойменной террасе р. Хантайки А.П. Тыртиковым [27] описаны бугристые торфяники. Бугры высотой от 1 до 11 м, как правило, безлесны, встречаются лишь отдельные угнетенные лиственницы, ели, кедры и березы. На вершинах и в верхних частях их склонов преобладает багульник, часто встречаются брусника, морошка, водяника, голубика.

В сплошном напочвенном покрове доминируют лишайники. На пологих склонах бугров в напочвенном покрове преобладают лишайники и встречаются сфагновые мхи, в травяно-кустарничковом ярусе преобладают багульник и голубика на лишайниковом покрове, морошка и клюква на подушках сфагновых

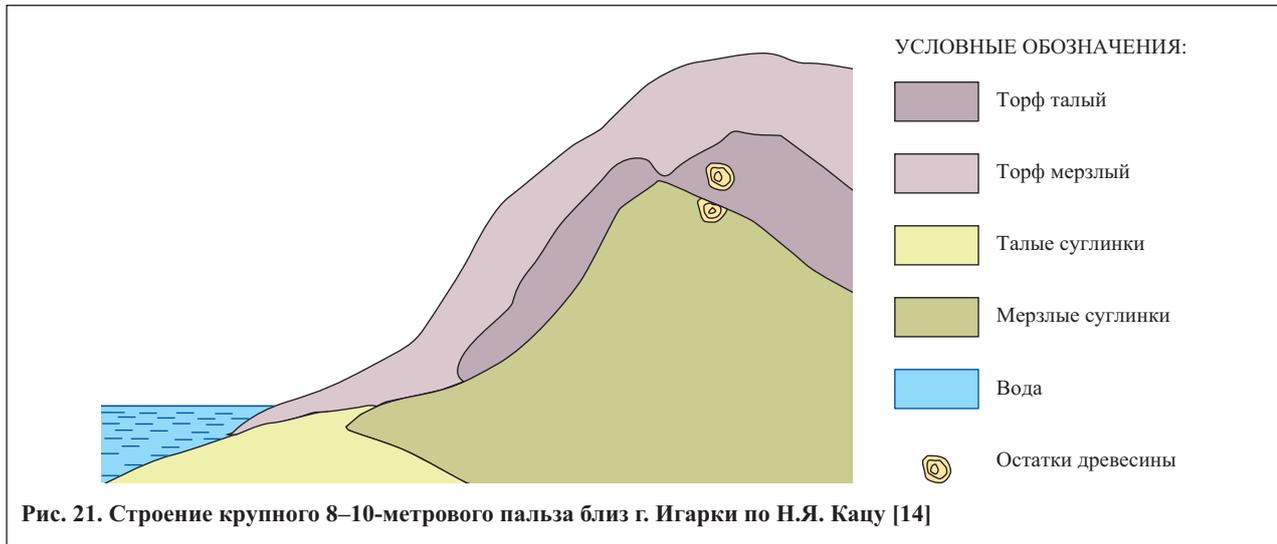
мхов; часто встречаются водяника, карликовая береза, осока, болотный мирт, черника, брусника. Нижние отрезки пологих склонов бугров заняты олиготрофными сфагновыми болотами, в сплошном напочвенном покрове преобладает сфагнум, в травяно-кустарничковом ярусе господствуют морошка и клюква. Основания бугров окаймлены кустарничково-сфагновыми болотами.

Бугры расположены одиночно или группами в понижениях на водоразделах и аллювиальных террасах, за исключением поймы. Вершины крупных бугров нередко выше окружающих участков водоразделов и террас, занятых редкостойными лесами. Бугры чередуются с заболоченными понижениями, в которых обычны водоемы. В растительном покрове понижений встречаются осоковые, осоково-сфагновые, вахтово-сфагновые, осоково-гипновые и другие болота. В межбугровых понижениях, занятых болотами и водоемами, многолетнемерзлые породы отсутствуют.

А.П. Тыртиков [27, 28] также полагал, что рост бугров может происходить и за счет активного нарастания сфагнового торфа на поверхности. Однако результаты датирования верхнего слоя торфа это предположение не подтверждают. Процесс роста бугра, по мнению А.П. Тыртикова, прекращается тогда, когда устанавливается равновесие (в среднегодовом цикле) между приходом тепла к нижнему фронту промерзания из немерзлых слоев грунта и оттоком его вверх. По мере увеличения площади торфяника это равновесие устанавливается позднее и продолжительность периода пучения увеличивается. Разрушение бугров начинается после нарушения растительного и торфяного покрова. Обнаженная темная поверхность торфа нагревается значительно сильнее и протаивает глубже, чем на участках под лишайниками, а образующиеся на поверхности водоемы и более мощный снежный покров ускоряют протаивание. На склонах бугров начинаются обвалы торфа, обнажаются льдонасыщенные минеральные слои, протаивание их ускоряется, и западины быстро расширяются. На поверхности такого бугра образуются мелкие водоемы, имеющие вначале округлую форму, которая по мере их расширения превращается в овальную. Впоследствии эти водоемы прорываются с образованием оврага. Овраг увеличивается до тех пор, пока не достигнет противоположного края бугра. Таким путем многолетнемерзлые бугры могут расчленяться на отдельные останцы, понижения между ними соединяются и нередко образуют общую дренажную сеть.

Как отмечал А.П. Тыртиков [27], процесс роста бугров циклический и после их разрушения может снова начаться формирование многолетнемерзлых торфяников. Таким образом, формирование и деградация многолетнемерзлых бугров обычно протекают рядом и наблюдаются одновременно почти на любом озерно-болотном-торфяном массиве.

Д.А. Драницын [12], работавший на р. Хантайке, указывает, что обычная высота бугров составляет 3–6 м при поперечниках около 10 м. Они обычно сливаются по нескольку вместе, поэтому выделить отдельный бугор и измерить его точно — вещь крайне затруднительная. Весь разрез торфа, по описаниям Д.А. Драницына [12], содержит обильные ледяные



прослойки от целых линз льда до тончайших жилок и отдельных кристалликов льда в порах. Точно так же и в подстилающих синеватых глинах содержится масса чистого льда в виде жил и слоев. Д.А. Драницын [12] сделал приблизительный подсчет и определил, что воды содержится около 20–25% от объема всей мерзлой массы бугра. Близкие соотношения получались у этого автора и при простом суммировании толщины чередующихся слоев льда и минеральной массы на определенном участке.

Шурфы, закладываемые у основания бугра и по его склону, выяснили, что выпуклой формой обладает именно минеральное ядро бугра. Толща торфа сохраняет примерно одинаковую мощность на ровном болоте и на вершине бугра, при разнице высот поверхностей в несколько метров [12].

На отрезке от р. Хантайки до г. Игарки участки крупнобугристых образований прослеживаются с небольшими перерывами на надпойменной террасе полосой от одного до нескольких километров. По описаниям Н.Я. Каца [14], крупные бугры под г. Игаркой достигают рекордной высоты, иногда более 10 м (рис. 21, 22). Интересно, что температуры воздуха и пород здесь весьма низкие (см. табл. 1), что не поддерживает версию об увеличении высоты бугров с севера на юг вследствие смягчения геокриологической ситуации.

В других местах близ г. Игарки они меньше — до 7 м, а в среднем 4 м. Менее крупные бугры обычно округлых очертаний, большие нередко вытянуты. В районе г. Игарки бугры в основном торфяные, торф покрывает весь бугор или его часть. Мощность торфа варьирует от 0,8 до 2,6 м. В ядре чаще залегают глины или суглинки.

Минеральное ядро высокого бугра составляет основную его массу, на долю же торфяного плаща приходится значительно меньшая часть. Бугры почти полностью сложены осоковыми, гипново- и сфагново-осоковыми торфами, материнские фитоценозы которых занимали пониженные участки болота. Положение торфа, наличие минеральных льдистых пород в основе бугров указывает на миграционный механизм их образования. В толще бугров (как в торфе, так и в минеральном грунте) обычны прослойки, а иногда линзы льда, встречаются пни и минеральные прослойки, видимо интрузивные. Наблюдается и перекрытие торфа минеральным грунтом. Бугры оттаивают летом на глубину от 20 до 67 см, а в среднем на 36 см (среднее из 15 измерений, сделанных в конце июня — начале июля).

На приенисейских торфяных буграх, в отличие от европейских, произрастают деревья. В окрестностях г. Игарки на буграх растут лиственница, ель и береза, а немного южнее также кедр. Рост деревьев здесь сравни-

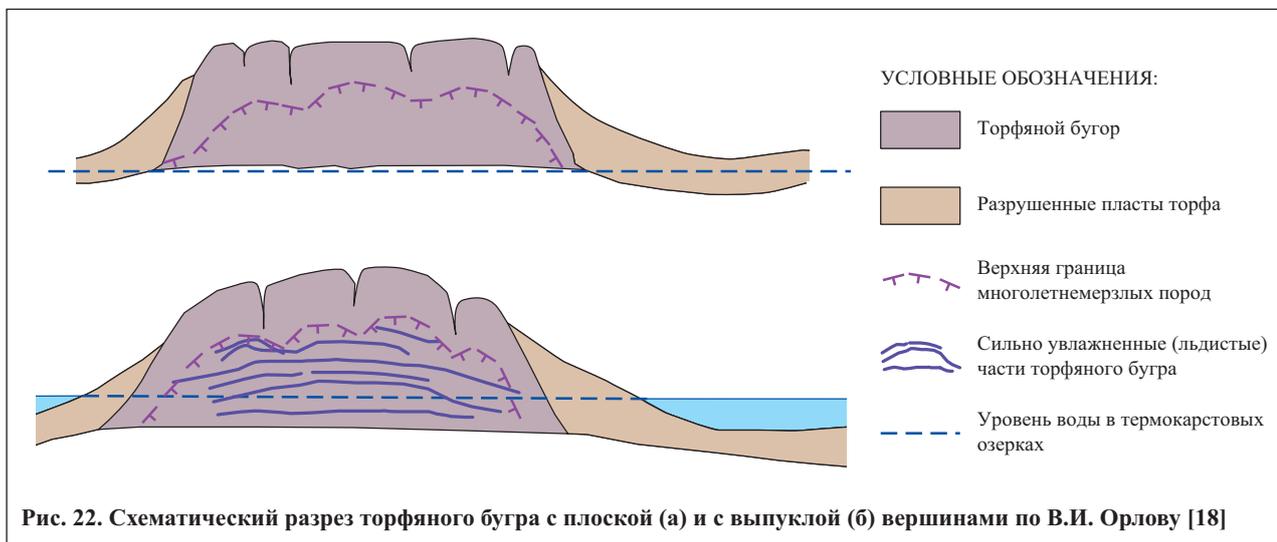




Рис. 23. Сезонный техногенный бугор пучения близ г. Норильска летом 2004 г.: а — 19 июня, б — 7 июля (фото Е. Перминовой)

тельно хороший, часто лишь немного хуже, чем в окружающем лесу. Лиственница достигает высоты 15 м, кедр — 12 м. Деревья растут главным образом по склонам бугров. На вершинах высоких бугров древостой либо очень разреженный, либо вообще отсутствует. В подлеске преобладает багульник высотой в среднем 20–30 см с надпочвенным покровом из лишайников.

Рельеф бугров часто волнистый и, кроме того, обычно мелкокочковатый. Иногда на поверхности бугра образуются мелкие морозные трещины глубиной до 25 см, ограничивающие полигоны диаметром до 25 см, иногда до 1 м.

Мочажины между крупными буграми обычно весьма обширны, иногда площадью несколько тысяч квадратных метров, сильно обводнены и имеют плоскую поверхность. Здесь доминируют главным образом *Carex rostrata* и *Carex limosa*, реже вахта. Сплошной моховой покров здесь чаще сфагновый. Мерзлотные режимы мочажин и бугров резко различаются между собой тем, что торф первым, как правило, оттаивает до дна.

Кроме комплексов крупных бугров и мочажин, в районе г. Игарки встречаются другие комплексы, в которых бугры сочетаются с умеренно влажными межбугровыми пространствами описанного типа.

Третий тип — комплексы крупных бугров и озер. Бугры здесь не выпуклые, а столообразные, обычно не выше 2 м над уровнем озер. Площадь их измеряется нередко тысячами квадратных метров. Они, как обычно, имеют заросли багульника и мелкокочковатый лишайниковый покров. Вершины бугров часто одной высоты.

Крупнобугристые болотные массивы в окрестностях г. Игарки часто имеют сложное строение. Исследования озер с торфяным дном близ г. Игарки показали, что они могут быть полностью окружены буграми. Комплексы крупных бугров и мочажин расположены по периферии массива, образуя иногда полное кольцо, причем первые располагаются в несколько рядов. Часто периферические бугры самые высокие, а по мере приближения к центру их высота снижается.

В заключение остановимся на техногенно инициированном образовании бугров пучения, которые также представляют собой непосредственную опасность для сооружений.

М.Ю. Голубчиков с соавторами [10] описали формирование и распад сезонного инъекционного бугра пуче-

ния, сформировавшегося в толще подруслового талика близ г. Норильска (рис. 23). Этот техногенный бугор пучения сформировался в полости подруслового талика в результате выброса большого количества воды при аварии на водопроводе 18 мая 2004 г. Утечка была ликвидирована в течение одних суток, но значительное количество воды, вероятно, успело профильтроваться в подрусловой талик протекающего в этом месте ручья. Бугор пучения сформировался примерно в 200 м ниже по склону от трубопровода. Между трубопроводом и гидролакколитом на поверхности снежника образовалась наледь, фиксирующая, видимо, место фильтрации воды в подрусловой талик. Диаметр наледи на момент первых наблюдений (17 июня 2004 г.) составлял около 10 м.

На момент первого наблюдения высота бугра составляла около 4 м, он имел вытянутую округлую форму, его длина составляла около 60 м, а ширина — около 28 м. Лед, вскрывавшийся в ядре бугра, был голубой и прозрачный, а в центре он сменялся белым, послойно-намороженным, образовавшимся, видимо, вследствие растрескивания ледяного ядра и замерзания в трещине талых вод. Ширина этого повторно-намороженного льда составляла около 60 см, а длина — около 11 м. Белый лед, заполнявший трещины в прозрачном ледяном ядре, состоял из кристаллов, имеющих примерно 5 см в длину и направленных перпендикулярно стенкам трещины.

К 7 июля бугор сильно деградировал. Лед в центре трещины протаял, с левой стороны образовался грот высотой около 130 см и глубиной примерно 3 м.

Последнее наблюдение за состоянием гидролакколита было произведено 22 июля. Жаркие погодные условия лета 2004 г. привели к его полному разрушению. Бугор пучения практически сравнялся с землей, а в его центре образовалась депрессия глубиной около 1 м [10].

Заключение

Ранее большинство исследователей считало, что в самых северных районах Средней Сибири пальза не развиваются из-за суровости геоэкологических условий и угнетения вследствие этого процессов миграции влаги. Однако пересмотр прежних материалов исследований бугристых торфяников и новые полученные данные позволяют заключить, что миграционные силь-



нольдистые торфяные бугры пучения в заполярных районах Средней Сибири развиты вплоть до самых северных частей Таймыра — до 75–76° с.ш. Их образование и деградация — весьма опасные процессы, которые необходимо учитывать при освоении и эксплуатации нефтяных, газовых, полиметаллических, алмазных, золотых и прочих месторождений в данном регионе, особенно при сооружении дорог, трасс трубопроводов, аэродромов и других протяженных линейных объектов, в поле влияния которых могут попасть пальза. Деградация таких бугров при взаимодействии с сооружениями неизбежно приводит к таянию льда в

их ядрах, просадкам поверхности и, как неизбежное следствие, — к деформациям этих сооружений и нарушению их эксплуатации.

Региональное развитие миграционных бугров пучения на торфяных массивах (пальза) значительно шире, чем представлялось ранее, они весьма широко представлены в районах низкотемпературной криолитозоны и динамика бугров, особенно в заполярных районах не всегда подчиняется общеклиматическим тенденциям, интенсивный рост бугров в условиях осушающихся торфяников может происходить и на фоне некоторого потепления климата. ❄

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ары-Мас. Природные условия, флора и растительность самого северного в мире лесного массива. Л.: Наука, 1978. 192 с.
2. Борцов А.В., Лисицына О.М. Геокриологические условия равнинной части Лама-Пясинского района // Материалы Четвертой конференции геокриологов России, г. Москва, 7–9 июня 2011 г. М.: Изд-во МГУ, 2011. Т. 2. С. 22–28.
3. Белорусова Ж.М., Украинцева В.В. Палеогеография позднего плейстоцена и голоцена бассейна р. Новой на Таймыре // Ботанический журнал. 1980. Т. 65. № 3. С. 368–379.
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во МГУ, 2008. 571 с.
5. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на Европейском Севере России — южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2011. № 2. С. 56–72.
6. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Миграционные бугры пучения на севере Западной Сибири: южный и северный пределы ареала и современная динамика // Инженерная геология. 2012. № 3. С. 62–78.
7. ВСН 014-89. Строительство магистральных и промысловых трубопроводов. Охрана окружающей среды-1. ВНИИСТ. 1989. 48 с.
8. Геокриологические опасности / под ред. Э.Д. Ершова и Л.С. Гарагули. М.: КРУК, 2000. 316 с.
9. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / под ред. Е.Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 414 с.
10. Голубчиков М.Ю., Горлова Л.Г., Перминова Е.С. Исследование сезонного природно-техногенного гидроакколита в Норильском промышленном районе // Материалы Третьей конференции геокриологов России. Т. 2. Ч. 3: Динамическая геокриология. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 72–73.
11. Гребенец В.И., Стрелецкий Д.А., Шмелев Д.Г., Шикломанов Н.И. Сравнительный анализ влияния ландшафтных условий на динамику сезонного протаивания грунтов (на примере исследований по международной программе CALM) // Материалы Четвертой конференции геокриологов России, г. Москва, 7–9 июня 2011 г. М.: Изд-во МГУ, 2011. Т. 2. С. 223–229.
12. Драницин Д.А. О некоторых зональных формах рельефа Крайнего Севера // Почвоведение. 1914. № 4. С. 21–68.
13. Ефремова Т.Т., Ефремов С.П. Оценка техногенного воздействия на кислотно-щелочные свойства и гумусное состояние крупнобугристого торфяника долины р. Норильская // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2006. № 7. С. 149–159.
14. Карпенко Л.В. Прогноз экологически опасных явлений при затоплении болот Богучанским водохранилищем // География и природные ресурсы. 2009. Вып. 2. С. 33–37.
15. Константинова Г.С. О криогенных образованиях в районе Большого Хантайского порога // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 112–120.
16. Кузнецов Н.И. «Лайды» в низовьях р. Енисей, их строение, образование и место в классификационной схеме болотно-лесных образований // Труды полярной комиссии АН СССР. Вып. 12. Л.: Изд-во АН СССР, 1932. С. 5–40.
17. Мельниченко Т.Н. Криогенные процессы в структуре и динамике ландшафтов северо-запада Среднесибирского плоскогорья: автореф. дис. ... канд. географ. наук. Барнаул, 2004. 25 с.
18. Орлов В.И. Некоторые особенности бугристых торфяников в районе Игарки // Известия ВГО. 1962. Т. 94. № 1. С. 75–79.
19. Преис Ю.И. Инверсионные грядово-мочажинные комплексы низинных болот криолитозоны Средней Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307. № 4. С. 64–70.
20. Сакс В.Н. Некоторые данные о вечной мерзлоте в низовьях Енисея // Проблемы Арктики. 1940. № 1. С. 62–79.
21. Сакс В.Н. К стратиграфии четвертичных отложений Таймырской депрессии // Доклады АН СССР. 1945. Т. 46. № 6. С. 262–265.
22. Стариков Э.В., Жидовленко В.А. Радиоуглеродные датировки института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР. Сообщение 2 // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1981. Вып. 51. С. 62, 182–184, 191, 192.
23. Тьртиков А.П. Формирование и развитие крупнобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири // Мерзлотные исследования. 1966. Вып. 6. С. 144–154.
24. Тьртиков А.П. Лес на северном пределе в Азии. М.: КМК, 1995. 144 с.
25. Хомичевская Л.А. Об остаточном жильно-полигональном характере бугристых торфяников в Игарском районе // Очерки региональной и исторической криологии. 1962. Т. 19. С. 80–88.
26. Швелелева Н.С., Хомичевская Л.С. Геокриологические условия Енисейского севера. М.: Наука, 1967.
27. Шумилова Л.В. О бугристых торфяниках южной части Туруханского края // Известия Томского отделения Русского ботанического общества. 1931. Т. 3. С. 1–13.
28. Vasilchuk Yu.K., Vasilchuk A.C. The ¹⁴C age of palsas in Northern Eurasia // Radiocarbon. 1998. V. 40. № 2. P. 895–904.

ДИНАМИКА ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ОТВАЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУБАКА (КОЛЫМСКОЕ НАГОРЬЕ)

THERMAL FIELD DYNAMICS OF FREEZING DUMPS OF THE KUBAKA DEPOSIT (KOLYMA UPLAND)

ГАЛАНИН А.А.

Заведующий лабораторией региональной геокриологии и криолитологии Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, д.г.н., г. Якутск, agalanin@gmail.com

МОТОРОВ О.В.

Ведущий научный сотрудник лаборатории техногенных экосистем ОАО «Институт золота и редких металлов» (ОАО «ВНИИ-1»), к.г.-м.н., г. Магадан

GALANIN A.A.

The head of the Laboratory of Regional Geocryology and Cryolithology of the Melnikov Permafrost Institute of the SB RAS, doctor of science (Geography), Yakutsk, agalanin@gmail.com

MOTOROV O.V.

A lead staff scientist of the Laboratory of Technogenic Ecosystems of the «Institute of gold and rare metals» OJSC («VNIИ-1» OJSC), candidate of science (Geology and Mineralogy), Magadan

Ключевые слова:

промерзание отвалов; геотермический мониторинг; месторождение Кубака; Колымское нагорье; техногенные каменные глетчеры.

Key words:

freezing of dumps; geothermal monitoring; Kubaka Deposit; Kolyma Upland; technogenic rock glaciers.

Аннотация

В статье рассмотрена динамика теплового поля промерзающих отвалов крупнейшего золоторудного месторождения Кубака в Магаданской области. Результаты их мониторинга, проводившегося в течение 7 лет, позволили выявить сложный характер протекающих в них геотермических процессов и сопровождающих их вторичных явлений, которые в конечном итоге могут привести к трансформации отвалов в техногенные мерзлотные образования, схожие с природными каменными глетчерами.

Введение

Промышленное освоение природных ресурсов в условиях криолитозоны нередко приводит к формированию техногенных форм рельефа, которые в ходе неизбежного охлаждения и промерзания становятся также криогенными образованиями, обладающими специфическим строением. Особое место в этом списке занимают промерзающие и насыщающиеся льдом горные отвалы. Так, на Норильском медно-никелевом месторождении на северо-западе плато Путорана некоторые насыщенные льдом отвалы трансформируются в динамичные, подобные каменным глетчерам тела, перемещающиеся с угрожающими скоростями до 1 м/сут [2, 3]. В исключительных случаях возникают и катастрофические последствия. Например, на плато Расвумчор в Хибинах техногенный каменный глетчер, сорвавшись со своего ложа, превратился в ледово-каменный сель и переместился на 2,5 км вниз по долине [4]. Без учета масштаба, некоторые черты этого явления можно сопоставить с хорошо известным катастрофическим селом, возникшим в результате отрыва перегруженной каменным материалом краевой части ледника Колка на Кавказе.

С точки зрения геологического времени техногенные образования создаются «мгновенно», поэтому они являются некими термодинамическими аномалиями, возникающими на фоне медленных и циклично развивающихся природных рельефообразующих процессов. Эти аномалии будут активно преобразовываться самопроизвольно или посредством естественных агентов. Причем велика вероятность трансформации техногенного объекта в наиболее близкий естественный аналог.

С данной точки зрения изучение процесса эпигенетического промерзания горных отвалов не только представляет практический интерес, но и позволяет

Abstract

The article considers the thermal field dynamics of freezing dumps of the large gold deposit of Kubaka in the Magadan Region. The monitoring results of them for 7 years permitted to reveal a complicated character of the geothermal processes proceeding in them and secondary phenomena accompanying the processes that in the long run can lead to transformation of the dumps into technogenic permafrost formations resembling natural rock glaciers.



более объективно вникнуть в суть таких природных криогенных образований и явлений, как курумы, каменные глетчеры, ледово-каменные сели, ледники.

Объект исследований

Кубака ($63^{\circ}42''$ с.ш., $159^{\circ}58''$ в.д.) — одно из крупнейших коренных золоторудных месторождений Магаданской области, отрабатывавшееся с 1993 по 2003 г. Оно расположено в восточной части Колымского нагорья в бассейне реки Омолон. Занятая отвалами площадь составляет около 4 км^2 , их общий объем — более 60 млн м^3 , максимальная мощность — 56 м. Отвалы сложены грубообломочным материалом диоритов и метасоматитов. Они отсыпались круглогодично в процессе отработки месторождения в виде террас на склоны западной экспозиции крутизной $10\text{--}12^{\circ}$ (рис. 1).

Климат рассматриваемого района резко континентальный, среднегодовая температура воздуха составляет минус 12°C , осадков выпадает 754 мм в год. Многолетнемерзлые породы (ММП) мощностью до 200–250 м и температурой от минус 1,5 до минус $5,4^{\circ}\text{C}$ имеют сплошное распространение. Поэтому лежащая в основе рекультивации рабочая гипотеза так называемой методики криогенной консервации отвало-

лов месторождения Кубака состояла в том, что за два-три года они промерзнут и их тепловое поле приблизится к естественному состоянию. Но в процессе отсыпки отвалов стали возникать аномальные температурные явления, такие как восходящие потоки нагретого воздуха на бровках отвалов (в осенний период), нисходящие потоки переохлажденного воздуха во фронтальной части (в летний период), замедление вегетации растительного покрова более чем на месяц на участках, примыкающих к фронту. Здесь же наблюдалось периодическое возникновение пояса изморози на растительности, формирование ледяного цемента в нижней части отвалов. Одновременно отмечено снижение, а затем полное прекращение стока с территории отвальных полигонов.

Указанные явления послужили основанием для организации геотермического мониторинга, цель которого заключалась в исследовании температурного режима и закономерностей промерзания отвалов. Всего было пробурено пять скважин на двух модельных отвалах (см. рис. 1). Наблюдения продолжались ежемесячно с мая 2000 г. по декабрь 2003 г. и далее с июня по ноябрь 2003 г. В 2004 г. наблюдений не проводилось. С марта 2005 г. по июль 2007 г. наблюдения проводились ежемесячно, за исключением марта 2006 г. и апреля 2007 г.



Рис. 1. Общий вид карьера и отвальных полигонов отрабатанного золоторудного месторождения Кубака (Колымское нагорье): а — отвальный полигон Западный; б — карьер; с — отвальный полигон Восточный; d — погребенный тальвег долины ручья Восточный; e — днище долины и направление течения р. Кубака; f — участок наиболее интенсивного сублимационного ледообразования и замедленной вегетации; 1–5 — номера и положение геотермических скважин; 1–2 — отвал № 796; 3–5 — отвал № 790

Результаты первых трех лет наблюдений [1, 5, 7] показали, что тепловое поле отвалов на начальном этапе было крайне неоднородным. В них возникали сезонные мигрирующие отрицательные и положительные аномалии. В настоящей статье мы впервые предлагаем обсудить весь ряд геотермических данных с 2000 по 2007 г.

Строение отвалов

По масштабу отвалы месторождения Кубака соответствуют геоморфологическим элементам ранга мезоморфоскульптуры и формируются сверху вниз вдоль топографических контуров бортов долин в виде последовательных ярусов. К подножию каждого отвала примыкает горизонтальная берма (поверхность) следующего отвала. Их мощность варьирует от 15 до 59 м.

Исходный состав коренных пород, технология их дробления и отсыпки определяют внутреннюю структуру и температурное поле отвалов на начальной стадии их формирования. Отвалы сложены преимущественно щебне-глыбовым материалом вулканогенно-осадочных и интрузивных пород девонского возраста. В качестве объектов изучения были выбраны два отвала полигона Восточный — № 796 и 790¹.

Отвал № 796 формировался с июля 1997 г. по январь 1998 г. (площадь бермы/основания — 113,3/19,8 тыс. м²; ширина бермы средняя/максимальная — 70/96 м; высота отвала средняя/максимальная — 15/24 м). Рекультивация поверхности бермы была завершена в июле 1998 г. На поверхности отвала пробурено две геотермические скважины (см. рис. 1).

Отвал № 790 формировался с августа 1997 г. по май 1998 г. (площадь бермы/основания — 17,4/52,2 тыс. м²; ширина бермы средняя/максимальная — 70/100 м; высота отвала средняя/максимальная — 27/38 м). Рекультивация бермы была завершена в июне 2000 г. В отвале пробурен профиль из трех геотермических скважин (см. рис. 1).

Обобщенный разрез отвалов содержит следующие горизонты (снизу вверх):

- коренные субвулканические породы (туфы риодацитов, игнибригов, туфопесчаников и туфоалевролитов, трахириолиты, риолито-дациты и андезиты) пестрого состава цокольной позднедевонско-раннекаменноугольной толщи (мощность более 200 м);
- нерасчлененные валунно-щебнистые ледниковые отложения с суглинисто-песчаным заполнителем, залегающие в виде линз, высокольдистые, преобразованные криогенными и современными склоновыми процессами (мощность 1–8 м);
- пролювиально-солифлюкционные щебнисто-дресвяные отложения с суглинисто-песчаным заполнителем, жилами и линзами льда, прослоями торфа и растительных остатков, криотурбированные (мощность 0,5–3,0 м);
- крупноглыбовые отложения нижнего горизонта отвалов со слабым заполнением мелкоземом и пористостью до 30–40% (мощность 3–5 м);

- крупно- и среднеглыбовые отложения среднего горизонта с дресвяным заполнителем и пористостью до 30% (мощность на разных отвалах от 8 до 40 м);
- уплотненный щебне-глыбовый верхний горизонт с дресвяно-песчаным заполнителем и пористостью 10–20% (мощность 1–3 м).

Средняя мощность многолетнемерзлых пород в пределах отвальных полигонов составляет около 200 м. Ненарушенные подстилающие коренные породы находятся в многолетнемерзлом состоянии с температурой от минус 1,5 до минус 5,4°C и характеризуются невысокой суммарной льдистостью (0,31–0,88%). Поскольку специальное изучение и картографирование многолетнемерзлых отложений на проектной территории отвалов не выполнялось, не исключается возможность захоронения под ними некоторых высокольдистых отложений. На близлежащих к отвалам участках они представлены ледниковыми, аллювиальными и полигенетическими склоновыми фациями. Содержание жильного, шлирового и цементирующего льда в некоторых из них достигает 90%.

Для техногенной части разреза отвалов характерно преобладание глыбовых разностей, в т.ч. размером более 2 м с минимальным количеством или отсутствием заполнителя. Это обусловлено процессами естественной сортировки обломков, возникающими при отсыпке отвалов.

Технология формирования отвала состоит в том, что очередная порция материала привозится и высыпается в виде кучи у края, затем сдвигается бульдозером к бровке и обрушивается с фронтального откоса. Более крупные и массивные обломки из-за их большей инертной массы скатываются значительно дальше основания фронтального откоса и образуют крупноглыбовый шлейф. Мелкие обломки и щебень накапливаются выше по откосу. В процессе отсыпки фронт отвала наступает и погребает под собой глыбовый горизонт шлейфа. Мощность крупноглыбового слоя в подошве отвалов составляет около 3 м.

Таким образом, отвал наращивается по своему фронту и движется вперед, сохраняя одинаковую высоту и уплощенную морфологию бермы, крутой фронтальный уступ с крутизной, близкой к углу естественного откоса. Поскольку исходной подстилающей поверхностью (ложем) является склон, то мощность отвала нарастает от тыловой части к его бровке.

За счет многократного укатывания и бульдозерной планировки бермы представляют собой плоские, близкие к горизонтальным, сильно уплотненные поверхности, сложенные измельченным до дресвяно-супесчаной фракции грунтом. Плотность поверхностного слоя достигает 1,9–2,4 г/см³, мощность — 1,0–1,5 м.

Методика геотермического мониторинга

В каждой из пяти пробуренных геотермических скважин установлено от 11 до 16 термодатчиков производства компании EBA Engineering Consultants в интервале глубин от 0 до 44 м. Термокосы были погружены в скважины с извлеченными буровыми трубами

¹ По принятой в проекте системе идентификации номера отвалов соответствуют абсолютной высоте их поверхности (бермы).



и засыпаны буровым шламом для предотвращения искажений, вызываемых конвективным теплообменом в стволе скважины.

Измерения температуры во всех скважинах выполнялись ежемесячно и одновременно с мая 2000 г. по декабрь 2006 г. Результаты наблюдений выборочных горизонтов отвалов приведены в виде временных температурных рядов, или вариограмм (рис. 2, 3). Перерыв на вариограмме указывает на отсутствие наблюдений в данный период.

Для анализа динамики теплового поля отвалов были выполнены оценки средних, максимальных и минимальных значений по разрезу, по глубине и по времени. Временные ряды средних значений температуры по вертикальному разрезу каждой скважины вычислялись путем осреднения температуры по всем термисторам для каждой даты измерения. Они характеризуют общую динамику температурного поля в отвалах во времени.

Средние значения по каждому из горизонтов за весь период измерений были получены путем осреднения всех значений временного ряда для заданного термистора. Для сравнения теплового поля отвала в начале и в конце периода наблюдений были рассчитаны средние значения за 2000–2001 и 2006–2007 гг.

Для оценки абсолютной амплитуды колебаний температуры были определены максимальные и минимальные значения за весь период наблюдений по каждому термистору для каждой скважины. Кроме того, были рассчитаны годовые амплитуды температуры на каждом термисторе для каждой скважины.

Динамика температурного поля отвалов

Полученные данные указывают, что температурное поле отвалов на протяжении всего периода наблюдений остается нестабильным и изменяется во времени (см. рис. 2, 3).

Отвал № 796

В скважине 1 (см. рис. 2, а) средняя температура всего разреза (среднее значение из результатов одновременных измерений всеми термисторами) за период наблюдений варьировала от минус 4,85 до плюс 1,07°C (амплитуда этой вариации составила 5,92°C). Сезонные вариации проявлялись следующим образом. На глубине 2 м (термисторе 1) температура варьировала от минус 13,09 до плюс 11,81°C (с амплитудой 24,9°C). В нижней части разреза скважины 1 на глубине 16 м (на уровне подошвы отвала № 796) максимальная температура варьировала от минус 2,03 до минус 7,41°C (с амплитудой 5,38°C). Среднее значение всех температур, наблюдаемых в скважине за семь лет (средняя температура отвала), составило минус 1,70°C.

В скважине 2 (см. рис. 2, б) осредненная по вертикальному разрезу температура за период наблюдений варьировала от минус 2,87 до плюс 1,01°C (с амплитудой 3,88°C). Максимальные колебания температур от минус 7,18 до плюс 11,37°C (с амплитудой 18,55°C) наблюдались на глубине 2 м (термисторе 1), минимальные от минус 0,91 до минус 1,69°C (с амплитудой 0,77°C) — на глубине 20 м (на уровне подошвы отвала).

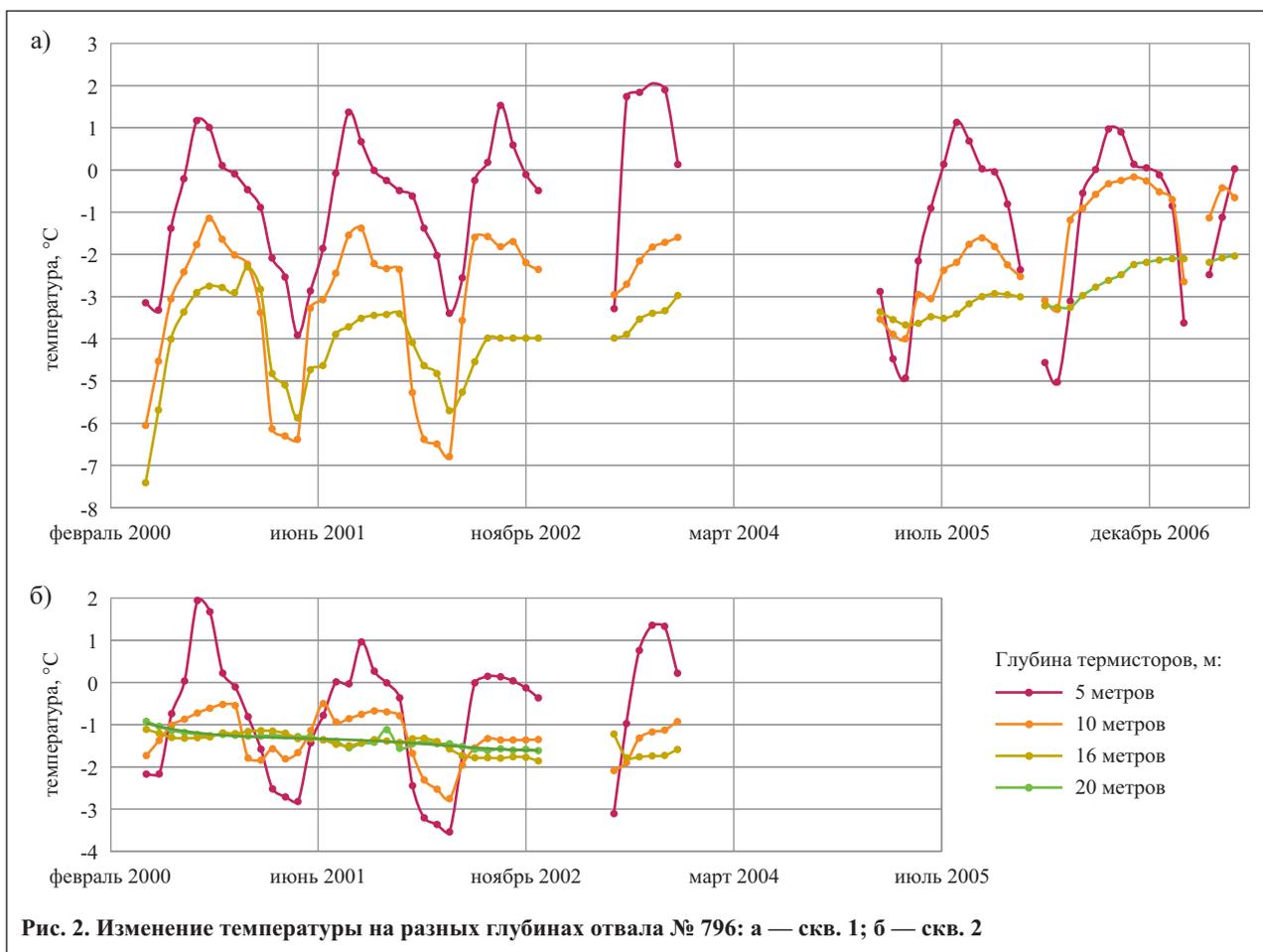


Рис. 2. Изменение температуры на разных глубинах отвала № 796: а — скв. 1; б — скв. 2

Среднее значение всех наблюдаемых по скважине температур (средняя температура отвала) составило минус 0,79°C.

Показательной характеристикой динамики температурного поля отвала № 796 является изменение средней годовой температуры на разных горизонтах (осреднялись результаты измерений на каждом термисторе за 12 месяцев) в начальный (2000–2001) и последний (2006–2007) годы наблюдений. Так, в скважине 1 с 2000 по 2007 г. средняя годовая температура понижалась на всех горизонтах отвала глубже 7 м (на термисторах 1–5). Максимальное понижение с минус 0,48 до минус 1,34°C было зафиксировано на термисторе 1 на глубине 2 м. На глубинах более 7 м вплоть от уровня подошвы отвала (на термисторах 6–11) происходило устойчивое повышение температуры. Максимальное повышение от минус 3,91 до минус 1,56°C было установлено для глубины 12 м (на термисторе 9) и составило 2,35°C. На подошве отвала на глубине 16 м (на

термисторе 11) температура повысилась от минус 2,06 до минус 1,54°C, т.е. на 1,29°C.

Отвал № 790

В скважине 3 (см. рис. 3, а) осредненная температура разреза за весь период наблюдений варьировала от минус 3,68 до плюс 0,87°C (с амплитудой 4,55°C). Максимальная вариация температур от минус 10,69 до плюс 13,5°C (с амплитудой 24,19°C) была отмечена на глубине 2 м (термисторе 1). Минимальная амплитуда (1,64°C) колебаний температуры от минус 2,04 до минус 3,68°C наблюдалась на глубине 30 м (на уровне подошвы отвала, термисторе 16). Аномально высокие вариации температуры с амплитудой 5°C были отмечены на глубине 21 м. Среднее значение всех температур по вертикали в скважине 3 за весь период наблюдений составило минус 1,67°C.

Так же как и в двух предыдущих скважинах, в скважине 3 было установлено закономерное снижение

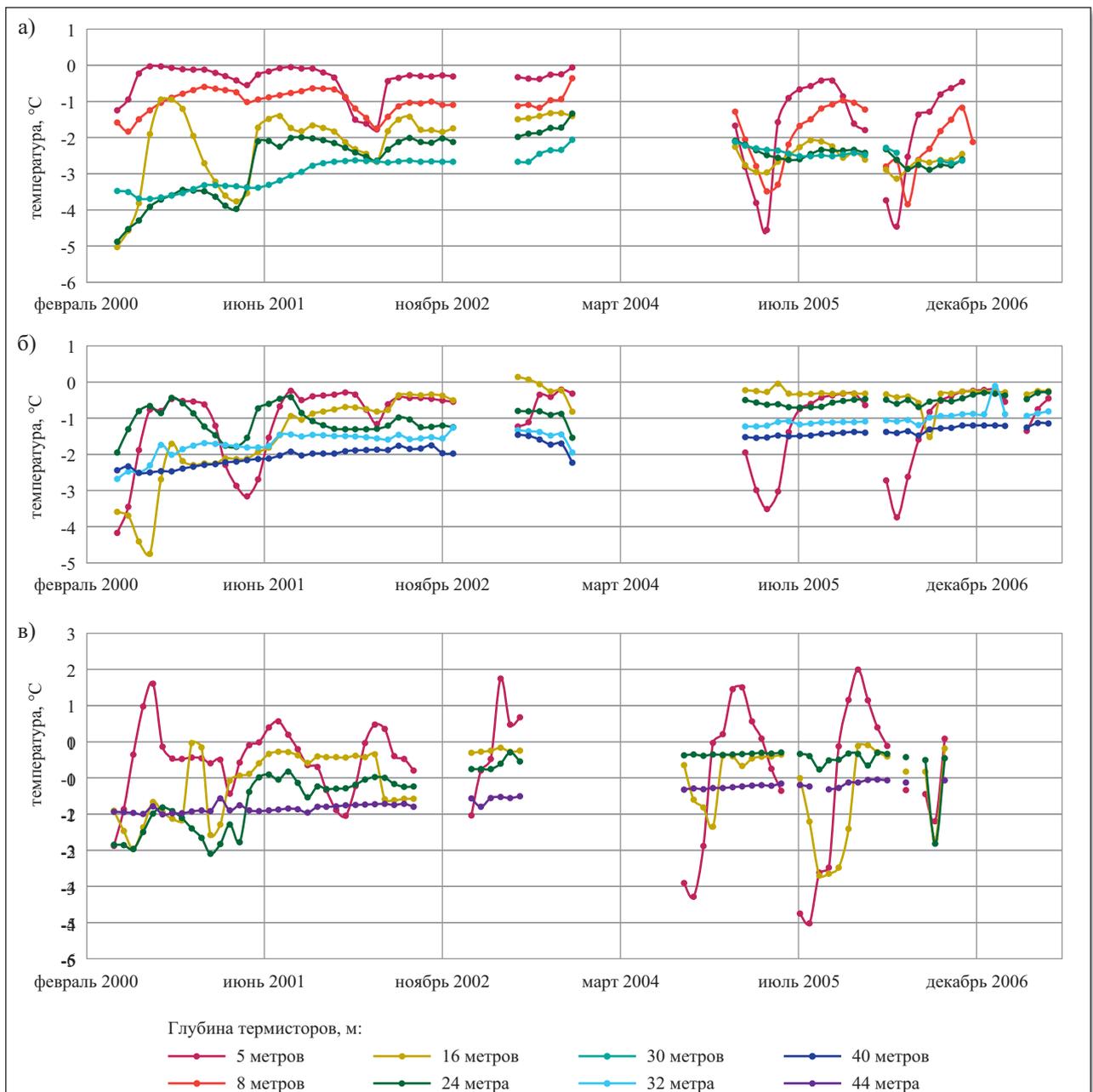


Рис. 3. Изменение температуры отвала № 790 на разных глубинах: а — скв. 3; б — скв. 4; в — скв. 5



среднегодовой температуры поверхностного слоя до глубины 12 м (на термисторах 1–9) и повышение температур нижних горизонтов (на термисторах 10–16). Максимальное снижение годовой температуры за шесть лет от плюс 1,43 до минус 0,87°C (с амплитудой 2,3°C) было установлено на глубине 2 м (термисторе 1). За тот же период на уровне подошвы отвала (на глубине 30 м, термисторе 16) было зафиксировано повышение среднегодовой температуры на 1,00°C (от минус 3,48 до минус 2,49°C). Однако максимальное повышение среднегодовой температуры в скважине 3 от минус 3,89 до минус 2,57°C было зафиксировано на глубине 24 м (термисторе 14) и составило 1,32°C.

В скважине 4 (рис. 3, б) были установлены максимальные сезонные вариации средней температуры разреза от минус 3,76 до плюс 1,33°C (с амплитудой 5,09°C), причем средняя температура разреза за весь период наблюдений составила минус 0,91°C. Сезонные колебания температуры наиболее сильно проявлялись в поверхностном слое на глубинах до 2 м (на термисторе 1) — от минус 16,96 до плюс 18,12°C (с амплитудой 35,08°C). На уровне подошвы отвала (на глубине 40 м, термисторе 16) были зафиксированы минимальные сезонные вариации температуры от минус 2,51 до минус 1,13°C (с амплитудой 1,38°C). Минимальные вариации температуры от минус 0,5 до минус 1,72°C (с амплитудой 1,22°C) наблюдались на глубине 28 м (термисторе 13).

По отношению к 2006 г. в 2007 г. в разрезе скважины 4 среднегодовые температуры повысились на всех горизонтах. Среднегодовая температура поверхностного слоя на глубине 2 м (термисторе 1) увеличилась с 2000 по 2007 г. на 1,27°C — с минус 1,91 до минус 0,64°C. На уровне подошвы отвала на глубине 40 м (термисторе 16) за шесть лет наблюдений среднегодовые температуры выросли с минус 2,37 до минус 1,29°C, т.е. на 1,08°C. Максимальное повышение среднегодовой температуры с минус 2,85 до минус 0,23°C было зафиксировано на глубине 12 м (термисторе 9) и составило 2,62°C. Минимальное повышение температуры от минус 1,08 до минус 0,89°C, т.е. на 0,19°C, было зафиксировано в верхней части разреза на глубине 4 м (термистор 3). Среднегодовое значение средней температуры по разрезу за шесть лет наблюдений повысилось от минус 1,88 до минус 0,86°C и составило 1,02°C.

В скважине 5 (см. рис. 3, в) закономерности изменений температурного поля были близки к скважинам 1–3. Среднее значение всех измеренных температур за весь период наблюдений составило минус 0,375°C. При этом была установлена максимальная вариация осредненной по вертикали температуры (6,59°C) от минус 3,75 до плюс 2,84°C. Сезонные изменения температуры по скважине 5 выглядят следующим образом. Максимальные колебания от минус 14,73 до плюс 14,21°C были установлены в приповерхностном слое на глубине 2 м (термисторе 1). Их амплитуда составила 28,94°C. На подошве отвала на глубине 44 м (термисторе 16) температура варьировала от минус 3,70 до плюс 0,01°C (с амплитудой 3,71°C). Минимальные сезонные вариации температуры от минус 0,7 до минус 3,21°C были установлены на глубине 36 м (термистор 14). Их амплитуда составила 2,51°C.

Среднегодовые температуры в разрезе скважины с 2000 по 2007 г. изменились следующим образом. На всех горизонтах глубиной от 2 до 12 м (на термисторах 2–8) было зафиксировано снижение температуры на 0,2–0,8°C. Среднегодовая температура поверхностного горизонта (на термисторе 1) повысилась с 0,36 до 0,66°C, т.е. на 0,3°C. На всех горизонтах глубже 16 м было зафиксировано устойчивое повышение температуры на 0,5–2,0°C. Причем максимальное повышение температуры от минус 2,49 до минус 0,44 (на 2,05°C) установлено в средней части отвала на глубине 24 м (термисторе 11). Среднегодовая температура подошвы выросла на 0,67°C (от минус 1,9 до минус 1,23°C). Осредненная по всему разрезу скважины 5 среднегодовая температура с 2000 по 2007 г. увеличилась от минус 0,89 до минус 0,52°C, т.е. на 0,37°C.

Динамика температурного поля по разрезу

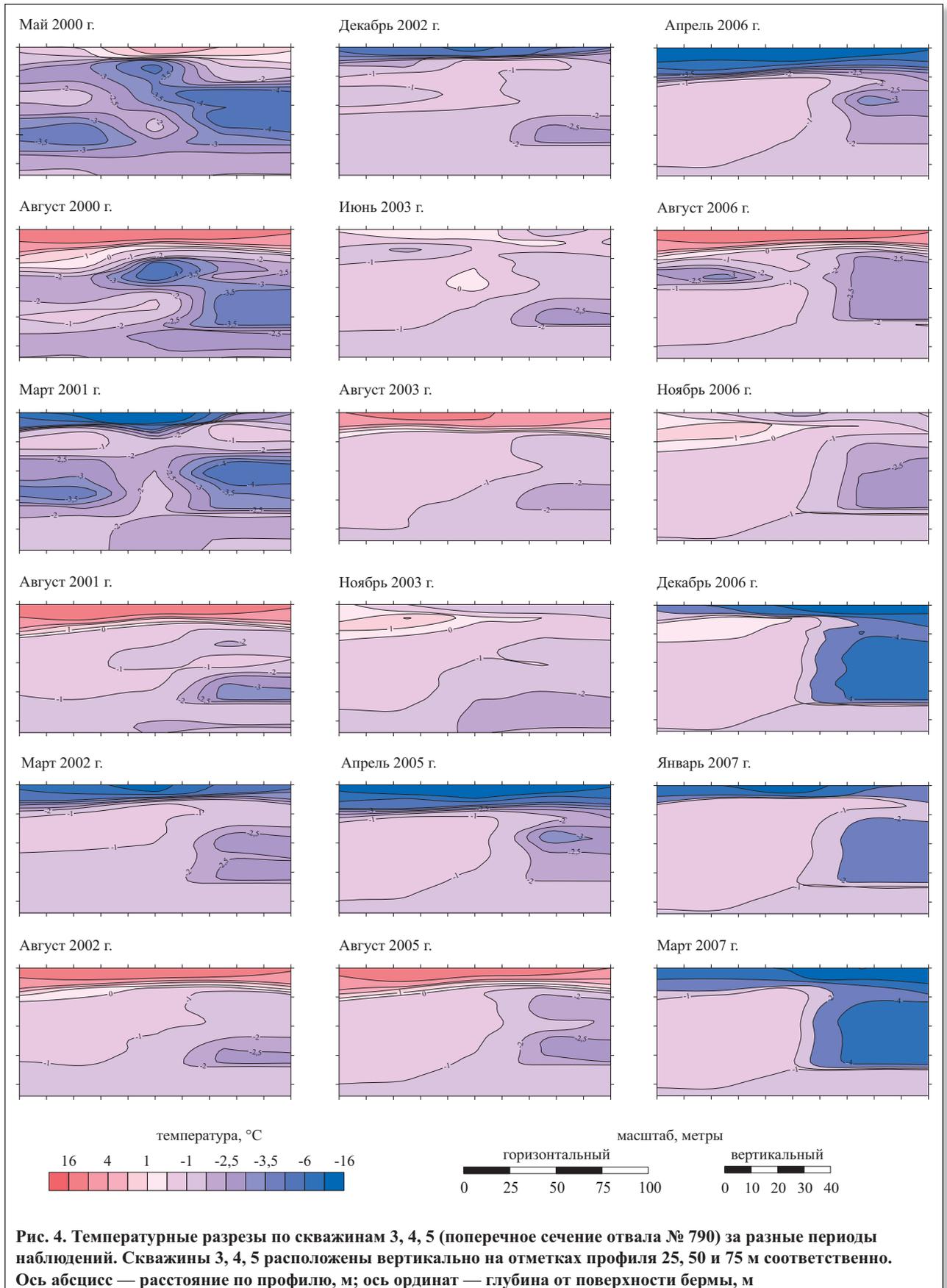
Для отвала № 790 (скважин 3, 4, 5) были построены разновременные разрезы измеренных температур с интервалом два месяца (рис. 4). На них хорошо интерпретируются сезонные аномалии относительно переохлажденных пород, формирующиеся за счет сезонных вертикальных и латеральных тепловых потоков. Значительная роль бокового охлаждения отвала в зимний период и отепления в летний особенно велика на крайних скважинах (3 и 4), в то время как сезонные вариации в центральной части отвала (в скважине 4) менее значительны.

Анализ геотермических разрезов позволяет заключить, что за весь период наблюдений температурное поле, характер и глубина проявления сезонных вариаций менялись значительно и направленно. Первичное и весьма неравномерное температурное поле отвалов характеризовалось наличием отрицательных аномалий линзовидной формы в центральной и боковых частях отвала. Центральная линза, по-видимому, имеет техногенное происхождение и связана со складированием и захоронением переохлажденного материала в зимний период непосредственно в процессе формирования отвала. Эта линза полностью исчезла на протяжении первых трех месяцев наблюдений. Боковые расширяющиеся к бортам отвала «линзы» отрицательных температур связаны с более интенсивным промерзанием крутых бортов отвала, на которых снежный покров полностью отсутствует. Пористое сложение отвала в начальный период способствует хорошему воздухообмену между боковыми частями отвала и атмосферой, иногда сопровождающемуся возникновением адиабатических воздушных потоков.

По мере посттехногенной трансформации практически полностью прекратилось зимнее охлаждение отвала со стороны более пологого левого борта. В то же время усилилось сезонное охлаждение в более крутой правой части со стороны скважины 5. К концу периода наблюдений (с 2006 по 2007 г.) в температурном поле отвала установилась некоторая структура сезонных колебаний. В этой структуре выделяются более стабильная внутренняя (ядерная) зона, поверхностный слой интенсивных сезонных вариаций мощностью до 10 м и боковая нестабильная зона правой части отвала мощностью до 30 м. Такую асимметрию установив-

шегося теплового поля отвала авторы связывают прежде всего с асимметрией его формы и внутреннего строения, которые освещены выше. Правая боковая зона испытывает интенсивное охлаждение вследствие высокой пористости борта отвала и отсутствия на нем снежного покрова.

Из полученных данных становится очевидным, что сезонные тепловые процессы в нижних горизонтах отвалов неритмичны и направлены. Можно заключить, что здесь в целом наблюдается сглаживание температур и исчезновение их сезонных аномалий, отмечавшихся на начальном этапе. Это можно объяснить по-





степенным заполнением порового пространства внутри отвалов мелкоземом и ледяным цементом, что вызывает изменение их теплопроводности (включая конвекцию). О накоплении льда свидетельствуют практически полное прекращение стока и рост ледяного пояса в основаниях старых отвалов.

Динамика годовых амплитуд температуры

Неравномерность (асимметрия) структуры теплового поля рассматриваемого отвала как геоморфологического элемента, очевидно, будет влиять на его дальнейшую динамику — прежде всего на развитие температурного крипа. Известно, что скорость температурного крипа, или термической десерпции, определяется амплитудой годовых колебаний, в то время как скорость криодесерпции определяется количеством переходов через точку замерзания поровой воды [7]. Интуитивно можно предположить, что суммарный вектор поступательно-циклических криогенных движений каждой точки объема тела при отсутствии монолитного течения будет направлен перпендикулярно изолиниям поля годовых амплитуд. При этом мощность динамически активного слоя определяется глубиной кровли нулевых тепловых оборотов.

Для выявления динамики годовых амплитуд температуры были построены разновременные разрезы этого параметра. Он рассчитывался путем суммирования максимальной и минимальной температур, наблюдаемых на каждом термисторе в течение одного года. Из имеющегося ряда данных оказалось возможным построение разрезов амплитуды для первых трех лет наблюдений и последнего года (рис. 5). Годовые амплитуды температур являются производными от абсолютных температур и отражают те же термодинамические процессы в отвалах. Однако графическое отображение данного параметра позволяет более обстоятельно показать существенность термодинамических изменений в разрезе отвала № 790 за период его наблюдений. В начальный период посттехногенной трансформации тепловая структура отвалов характеризовалась линзовидностью и субгоризонтальной слоистостью. К концу периода наблюдений в нем сформировалась структура ядерного типа, в центре которой расположена асимметричная линза с минимальными амплитудами (теплооборотами).

Синергетические процессы в отвалах

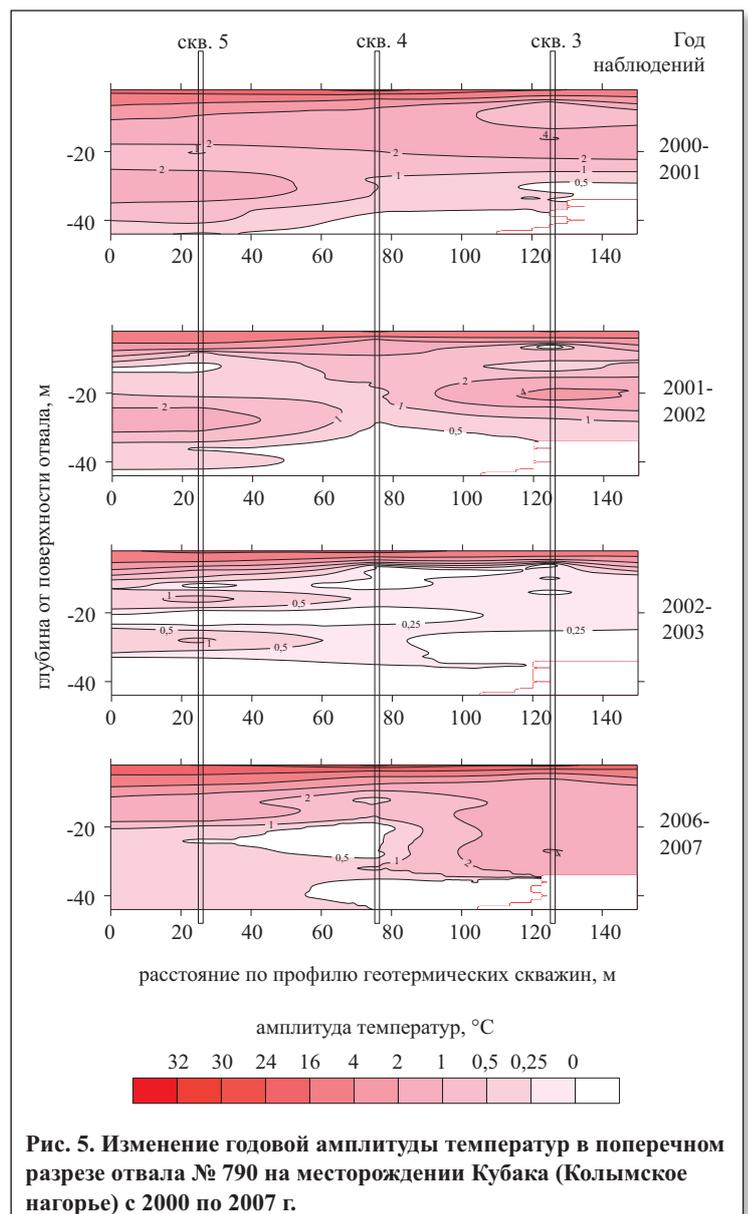
Во введении было кратко отмечено возникновение вторичных явлений, связанных с формированием отвалов и техногенными изменениями естественного теплового поля. К этим явлениям, требующим более детального обсуждения, авторы относят:

- изменение гидрологического режима территории и поглощение отвалами стока водосбора ручья Восточный;
- мощные конвективные потоки переохлажденного воздуха во фронтальной части некоторых отвалов, характеризующиеся сезонной и суточной изменчивостью;

- формирование в нижних частях некоторых отвалов цементирующего ледяного горизонта видимой мощностью до 8 м;
- формирование пояса изморози и угнетенной вегетации (рис. 6) шириной около 150 м в пределах естественного лиственничного леса, примыкающего к фронтальной части отвала № 690.

Изменение гидрологического режима и поглощение стока ручья Восточный

До начала формирования отвального полигона Восточный здесь располагался бассейн временного водотока — ручья Восточный (левого притока реки Кубака). Ручей характеризовался относительно небольшой площадью водосбора, не превышающей 1,5 км², хорошо выраженным тальвегом (см. рис. 1) и максимальным расходом во время паводков не более 0,5 м³/с. В его устьевой части была назначена точка гидрологического мониторинга. В процессе освоения месторождения и расширения площади отвалов полигона Восточный общий расход ручья постепенно снижался, несмотря на нормальную обеспеченность осадков. К сожалению, данными о расходах ручья Восточный авторы не рас-



полагают. На основе только визуальных наблюдений летом 2001 г. было установлено прекращение стока и зарастание его русла растительностью.

Уменьшение стока ручья вызвано частичным поглощением отвалами, а также более высокой испаряемостью поверхности отвалов по сравнению с естественным ландшафтом. Высокая поглощающая способность поверхности отвалов с коэффициентом стока не более 0,1–0,3 определяется их пористым строением и отсутствием почвенно-растительного покрова, что обуславливает практически полную инфильтрацию талых снеговых и дождевых вод в массивы отвалов. Значительная часть просачивается внутрь и, достигнув области отрицательных температур, замерзает. Расчетная температура замерзания воды с максимальной из зафиксированных за период наблюдений минерализацией 3,5–4,0 г/л составляет примерно минус 0,2°C.

Установленные в ходе мониторинга однонаправленные (несезонные) изменения температурного поля отвалов и исчезновение температурных аномалий свидетельствуют о заполнении порового пространства цементирующим льдом. Соответственно, прекращение стока может быть косвенно связано с интенсивным накоплением льда внутри отвалов.

Конвективные процессы

Активизация конвективных процессов внутри отвалов обусловлена изначальным неравновесием его теплового поля, пористым сложением и морфологией погребенного рельефа. Роль основного агента конвективного теплообмена принадлежит атмосферному воздуху, который в зависимости от времени года охлаждает (в зимний период) и нагревает (в летний период) отложения отвалов. Движение воздуха осуществляется по поровому пространству пород под влиянием градиентов температуры, давления и влажности. В результате конвекции в массиве отвалов формируются аномальные температурные зоны.

В течение летнего периода массив отвалов прогревается не только сверху, но и снизу. Поступающий в отвалы атмосферный воздух охлаждается и стекает вниз, используя поровое пространство. Наиболее крупные поры и их совокупности формируют своеобразные каналы, выходящие наружу в основании

фронта отвала и образующие подобия устьев. Причем в этих устьях достигается максимальное давление выходящего воздуха. При охлаждении содержащиеся в воздухе пары воды конденсируются в виде льда и заполняют поровое пространство. Таким образом, поровое пространство постепенно заполняется льдом, что осложняет движение воздуха.

Конвективный теплообмен на участках складирования пустых пород характеризуется аномальными визуальными явлениями. В зимний период после охлаждения атмосферного воздуха ниже минус 20 — минус 25°C на верхних участках отвалов (бровках откосов) формируются выходы переувлажненного теплого воздуха в виде отдельных султанов пара с образованием конусов кристаллической изморози высотой до 0,5 м.

В летний период конвективные воздушные потоки на участках приподошвенного слоя откосов отвалов формируют пояс кристаллической изморози и сублимационного льда. Наиболее активно эти процессы протекают на наиболее низких гипсометрических уровнях (отвал № 670). Высота слоя изморози достигает 8,0 м, период ее существования является круглогодичным (с преобразованием изморози к концу лета в натечные ледяные формы).

Поступление холодного воздуха из отвала носит пульсирующий характер, выражающийся в постоянном чередовании и замещении склонового холодного воздуха массами теплого атмосферного воздуха окружающей территории. Это приводит к одновременному таянию сублимационного льда, просачиванию и стеканию воды по поверхности обломков и ее вторичному замерзанию с образованием сплошного слоистого ледяного цемента. Аналогичные связанные с фазовыми переходами воды процессы, вероятно, происходят и внутри отвалов, приводя к постепенному заполнению порового пространства ледяным цементом.

Формирование переохлажденных воздушных потоков

По периферии отвала № 670 полигона Восточный начиная с 2000 г. в течение каждого лета начал отмечаться ярко выраженный пояс угнетенной вегетации естественной растительности. Этот пояс имеет наи-



Рис. 6. Элементы отвала № 670 полигона Восточный: а — общий боковой откос и террасированные боковые бермы; б — сложенная крупными глыбами краевая часть фронтального откоса и примыкающая зона угнетенной вегетации



большую ширину около 150 м в тальвеговой части долины ручья Восточный. Здесь же в основании отвала наблюдались наиболее мощные выходы льда (около 8 м) и интенсивные потоки переохлажденного воздуха с температурами ниже минус 10 — минус 15°C в летний период. Для исследования данного процесса в июле 2002 г. были проведены измерения температуры и влажности воздушных потоков с использованием психрометра Асмана. Замеры выполнялись по двум профилям (см. рис. 1) на высоте 0,5–1,0 м от поверхности земли и в воздушных полостях пород у подножий отвалов. Результаты измерений приведены на рис. 7.

Было установлено, что скорость перемещения воздуха в поровом пространстве и на выходах в атмосферу зависит от абсолютных значений градиентов и составляет, по натурным оценкам, в летний период (в конце июля) на уровне подошвы отвала № 670 не менее 5 м/с. При этом температура выдавливаемого из отвала холодного воздуха достигает минус 10°C и ниже. Интересным является то, что ни в одной из скважин такие низкие температуры не фиксировались на всем протяжении геотермического мониторинга. Вместе с тем столь низкие температуры выходящего из под отвала воздуха могли бы свидетельствовать о значительных «запасах холода» в его массиве.

Скорость воздушных потоков и их температурные градиенты достигают максимума в наиболее жаркое время дня. В утренние часы при температуре окружающего воздуха плюс 18°C температура выходящих потоков не опускалась ниже минус 5 — минус 6°C. Вечером при температуре окружающего воздуха плюс 29 — плюс 30°C температура отдельных воздушных струй опускалась до минус 17°C. Таким образом, утренний градиент составил около 23°C, а вечерний — примерно 45°C. Причем скорость потока переохлажденного воздуха в вечернее время была существенно более высокая. О мощности и уникальности охарактеризованных тепловых процессов может свидетельствовать и то, что бутылка с питьевой водой объемом 1 л, помещенная в устье выходящего холодного воздушного потока, полностью замерзала за 15 минут.

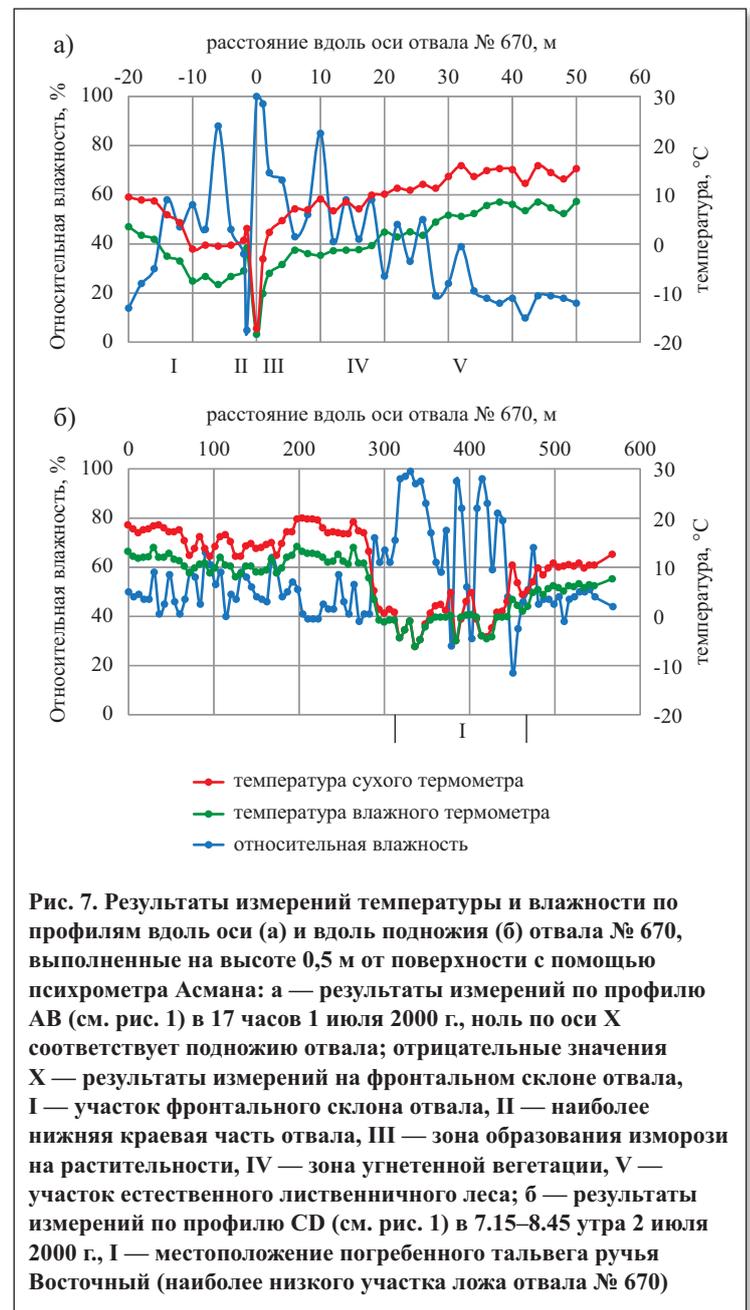
На температурно-влажностном профиле (см. рис. 7, б) отчетливо интерпретируется размер зоны активных потоков холодного воздуха — около 20 м. Она приурочена к наиболее низкому участку ложа отвала — погребенному тальвегу ручья Восточный. Причем в этой зоне отмечено несколько изолированных участков скопления выводных устьев. Мы предполагаем, что концентрация холодных потоков в пределах погребенного тальвега объясняется его морфологией и большей проницаемостью для воздушных потоков.

На участке выхода переохлажденных потоков формируется подвижная граница взаимодействия холодного воздуха отвалов и нагретого атмосферного. Положение этой границы постоянно меняется. Наибольшая скорость воздушных потоков и выхолаживания фронта отвала наблюдается в жаркую летнюю погоду во второй половине дня. В это же время пояс инея на примыкающем к фронту отвала растительном покрове расширяется до 10–15 м. Ночью и в пасмурную прохладную погоду скорость воздушных потоков умень-

шается, пояс инея сокращается и даже исчезает, а граница образования сублимационного льда смещается вглубь отвала.

Мы предполагаем, что конвективные воздушные потоки связаны с различной плотностью холодного воздуха переохлажденных отвалов и теплого воздуха окружающей среды. Это явление отмечалось и ранее в техногенных и природных геологических объектах (такие потоки иногда именуют «сушенцами»). Однако на отвалах месторождения Кубака оно приняло весьма масштабный характер.

Процессы конвективного воздухообмена, с одной стороны, указывают на термодинамическую неустойчивость отвалов на начальном этапе их посттехногенной трансформации. С другой стороны, они направлены на стабилизацию отвалов, поскольку приносят в них большое количество влаги. Это способствует ускорению заполнения порового пространства льдом, что, в свою очередь, снижает активность конвективных потоков.



Заключение

Мониторинг отвалов месторождения Кубака в течение семи лет позволил выявить сложный характер протекающих в них постгенетических геотермических процессов и сопровождающих их вторичных явлений. Было установлено следующее.

Специфика посттехногенной трансформации отвалов определяется их исходным грубообломочным составом и особенностями формирования (складирования). Процессы гравитационной сортировки при формировании террасированного отвала приводят к образованию высокопористого проводящего горизонта в его основании. Террасовидная (асимметричная) морфология и аномальная мощность (до 59 м) сформированных отвалов месторождения Кубака сближают их с некоторыми природными грубообломочными образованиями — каменными глетчерами. Погребенный под отвалами исходный рельеф, включая долину и тальвег ручья Восточный, способствует формированию воздушных и водных потоков внутри некоторых отвалов.

Наиболее объективные выводы о динамике температурного поля можно сделать на основании геотермических разрезов отвала № 790. На начальном этапе посттехногенной трансформации тепловое поле этого отвала было крайне неустойчивым. В нем возникали отрицательные и положительные квазиритмические аномалии. Вместе с тем за семь лет наблюдений средняя температура отвала не только не понизилась, а повысилась с 0,37 до 1,02°C. Поэтому изначальный тезис о «криогенной консервации» пород отвалов путем их естественного промерзания авторам представляется несостоятельным.

Установленные закономерности изменения температуры отвалов сводятся к выравниванию температурного поля и формированию структуры ядерного типа, в которой форма изотерм в некотором приближении повторяет форму поверхности отвала. Отчетливо зафиксировано повышение среднегодовой температуры большей части отвала и особенно его центральной (ядерной) зоны. Максимальное повышение температуры от минус 2,85 до минус 0,23°C было зафиксировано в центре отвала (в скважине 4) на глубине 12 м (термисторе 9) и составило 2,62°C. В боковых частях отвала максимальное повышение от минус 3,89 до минус 2,57°C наблюдалось на глубине 24 м (в скважине 3) и составило 1,32°C. В правой части отвала (в скважине 5) максимальное понижение среднегодовой температуры от минус 2,49 до минус 0,44°C было отмечено на той же глубине (24 м) и составило 2,05°C. Повышение температуры подошвы отвала № 790 также было весьма значительным (1,0–2,4°C). Понижение среднегодовой температуры отвала было выявлено только на некоторых термисторах поверхностного слоя до глубины 4–10 м и составило менее 1°C.

Структурные изменения сезонной динамики теплового поля отвала № 790 хорошо иллюстрируются геотермическими разрезами годовой амплитуды (см. рис. 5), на которых наблюдается появление ядра с минимальными ее значениями в центре отвала. При этом общая структура теплового поля становится более равномерной и упорядоченной.

Возникающие при промерзании отвалов вторичные (синергетические) процессы направлены на стабилизацию их изначальной термодинамической неравновесности. Причем эта неравновесность связана как с «захоронением» в ходе отсыпки отвалов некоторых тепловых аномалий, так и со структурно-вещественным составом. На месторождении Кубака наибольшее развитие получили циркуляционные потоки переохлажденного воздуха, приводящие к интенсивному образованию сублимационного и конжеляционного типов льда внутри отвалов в летний период. Отчасти их можно объяснить конвекционными механизмами. Однако происхождение крайне низких температур этих потоков (минус 15°C и ниже) требует, вероятно, другого объяснения.

Снижение расхода и прекращение стока ручья Восточный, которое авторы связывают с поглощением осадков в телах отвалов, также является специфической реакцией, требующей дополнительного исследования.

Все рассмотренные процессы, в т.ч. визуально наблюдаемые пояса льда мощностью 5–8 м в нижних частях отвалов, прямо и косвенно указывают на постепенное преобразование структурно-вещественного состава отвалов в ходе их посттехногенной трансформации. Конечным результатом этой трансформации будет формирование массивного ледово-грунтового тела.

Полученные материалы позволяют несколько более широко взглянуть на выполненный мониторинг отвалов. Само их создание и дальнейшее развитие можно рассматривать в рамках задач экспериментальной геоморфологии. Сходство литологических, геоморфологических и морфоклиматических условий залегания природных каменных глетчеров и отвалов месторождения Кубака дает основание провести аналогию между ними и воспользоваться известными реологическими моделями для прогноза пластического течения отвалов. ❄

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 11-05-0046-а, 12-05-98507-р_восток_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галанин А.А., Моторов О.В., Замоц М.Н. Техногенные каменные глетчеры в районах освоения коренных месторождений Северо-Востока // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 1. С. 17–28.
2. Гребенец В.И., Керимов А.Г. Изменения характера движения крупнейшего техногенного каменного глетчера // Криосфера Земли. 1998. Т. 2. № 2. С. 38–42.
3. Гребенец В.И., Титков С.Н. Инженерно-геологические риски, связанные с формированием техногенных каменных глетчеров // Инженерная геология. 2006. № 11. С. 33–37.
4. Горбунов А.П., Северский Э.В. Скорости движения и деформации каменных глетчеров // Криосфера Земли. 2010. Т. 14. № 1. С. 69–75.
5. Замоц М.Н., Моторов О.В., Павлов Б.А. Генезис, характеристика и свойства крупнотоннажных отходов горнодобывающих предприятий Северо-Востока России // Колыма. 2003. № 4. С. 42–47.
6. Моторов О.В., Замоц М.Н., Галанин А.А. Образование техногенных каменных глетчеров при разработке коренных месторождений в условиях криолитозоны // Горный журнал. 2007. № 4. С. 25–29.
7. Шайдеггер А.Е. Теоретическая геоморфология. М.: Прогресс, 1964. 450 с.

О ПРИРОДЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОГЕННЫХ НАРУШЕНИЙ В ГОРНОМ МАССИВЕ (ОТ ЗОНАЛЬНОЙ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ПОРОД ВОКРУГ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК ДО ПРОВАЛОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ)

ON THE NATURE OF TECHNOGENIC DISTURBANCE DEVELOPMENT IN A ROCK MASSIF (FROM ZONAL DESINTEGRATION OF ROCKS AROUND UNDERGROUND OPENINGS TO COLLAPSES OF THE EARTH SURFACE)

ИЛЬЧЕНКО В.Л.

Научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра РАН, г. Апатиты Мурманской обл., vadim@geoksc.apatity.ru

МЕДВЕДЕВА С.Г.

Аспирант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, twelanis@mail.ru

ILCHENKO V.L.

A staff scientist of the Geological Institute of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Murmansk Region, Russia, vadim@geoksc.apatity.ru

MEDVEDEVA S.G.

A postgraduate student of the engineering and ecological geology department of the geology faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, twelanis@mail.ru

Ключевые слова:

провалы; зональная дезинтеграция горных пород; контур горной выработки; стоячие волны.

Key words:

collapses; zonal desintegration of rocks; mining contour; standing waves.

Аннотация

С точки зрения «волновой геодинамики» рассмотрен сценарий развития системы техногенных нарушений в массиве горных пород от проходки протяженной горной выработки на большой глубине до появления провалов земной поверхности, обусловленных пошаговой зональной дезинтеграцией массива («эффектом квантования») вокруг выработки. Сделан вывод, что дезинтеграция, скорее всего, происходит в результате воздействия на горные породы системы стоячих волн, инициированных колебаниями на контуре выработки.

Введение

Принято считать, что относительно спокойное существование человека и природы закончилось в конце XVII в. с началом промышленной эпохи и стремительным ростом техногенного воздействия на природную среду. Современный техногенез имеет глобальный масштаб проявлений, а их опасность усугубляется непредсказуемостью. К началу XXI в. наблюдаемые явления техногенеза становятся вполне сопоставимыми с природными процессами горообразования [11]. Активно агрессивный по своему характеру, техногенез способен внезапно изменять эколого-геодинамические свойства земной коры. Техногенные воздействия оказывают большое влияние не только на экзогенные, но и на эндогенные геологические процессы, приводя к катастрофическим последствиям [3].

Ни один вид человеческой деятельности не оказывает такого комплексного давления на окружающую среду, как горное производство. Пространственно-временные нарушения в порядке проявления геологических процессов, изменение напряженно-деформированного состояния литосферных блоков и рост заселенности территорий увеличивают экологический риск. На территориях горной добычи зачастую не только активизируются природные геологические процессы, характерные для соответствующей местности, но и возникают новые, техногенные.

Интенсивность геологических процессов, связанных с добычей полезных ископаемых, зависит не столько от состава минерального сырья, сколько от технологии добычи. Большинство месторождений полезных ископаемых, извлекаемых закрытым способом, приурочено к аномальным геодинамическим зо-

Abstract

From the standpoint of the «wave geodynamics» the article considers a scenario of the anthropogenic disturbance system development in a rock massif from advancing an extended underground opening at great depth to appearing earth surface collapses caused by step-by-step zonal desintegration of the massif («quantization effect») around the opening. The authors conclude that the desintegration most likely occurs as a result of impact on the rocks of the standing wave system initiated by oscillations on the mining contour.



нам, характеризующимся тектонической подвижностью и раздробленностью пород, что также осложняет горные работы и способствует активизации природных и возникновению новых техногенных геологических процессов [11].

К новым геологическим процессам, спровоцированным техногенезом, относятся: оседание земной поверхности (с разрывом сплошности и без нее), горные удары, образование провалов (а в условиях вечной мерзлоты — провальных озер и наледей), осушение и подтопление горнопромышленных территорий. Например, в Западном Донбассе по мере разработки продуктивной толщи, залегающей на глубинах до 100 м, закрытым способом без закладки выработанного пространства участки с глубиной оседания 5–7 м охватили площадь более 20 км², а оседание на 3–5 м было отмечено на территории 110 км² [8]. Примеров такого рода (в т.ч. и с более серьезными последствиями) имеется множество, и число их растет.

Таким образом, техногенные явления «провальной» тектоники на сегодняшний день приобретают статус стихийных бедствий, природа которых нуждается в самом пристальном и всестороннем изучении.

В ходе 1-й Китайско-российской научной конференции «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке полезных ископаемых на больших глубинах», помимо прочего, обсуждалось открытие российских ученых в области нелинейной геомеханики — «явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок» (открытие СССР № 400, авт.: Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев и др.). Сущность данного явления состоит в том, что массив горных пород вокруг подземных выработок на больших глубинах разрушается зонально, причем сначала образуется зона разрушения непосредственно на контуре выработки, затем возникает вторая зона трещин, отстоящая от первой на определенное расстояние. Здесь трещины также ориентированы по контуру выработки. Затем «квантообразно» образуются другие зоны разрушения массива. Зональная дезинтеграция массива горных пород имеет упорядоченный характер: средние значения радиусов и ширина зон разрушения для протяженной выработки образуют геометрическую прогрессию с основанием $\sqrt{2}$. Это явление свидетельствует о наличии своеобразного закона «квантования» геомеханической энергии при образовании нарушенных зон в окрестностях подземных выработок в условиях больших глубин с коэффициентом «подобия» относительно их начального радиуса в виде $(\sqrt{2})^n$ (где n — целые числа) [10].

В настоящее время дискуссии по поводу этого эффекта «квантования» продолжаются. Адекватная физическая модель и теория данного явления не созданы, и ни одна из предложенных гипотез о его природе также пока не верифицирована [8].

В настоящем исследовании сделана попытка установления механизма возникновения провалов на земной поверхности вследствие развития зональной дезинтеграции горных пород в окрестностях протяженных выработок на большой глубине с позиций «волновой геодинамики».

Обсуждение явления зональной дезинтеграции

Обсуждаемое явление обладает упорядоченностью пространственного проявления его признаков, описываемой выражением, включающим степенной коэффициент подобия $(\sqrt{2})^n$ (явное свойство систем с самоорганизованной критичностью [9]), и закономерным целочисленным («квантованным») распределением геомеханической энергии [10], что является основанием для попытки объяснения его природы с позиций «волновой геодинамики». В 2000–2002 гг. в Геологическом институте Кольского научного центра РАН была проведена экспериментальная работа, цель которой, помимо прочего, заключалась в том, чтобы выяснить, как происходит разрушение объема горной породы, находящегося под воздействием поля стоячих волн [7].

Этот эксперимент проводился следующим образом. К образцам осадочных пород кубической формы, помещаемым между плитами пресса, присоединялся источник ультразвуковых колебаний (с частотой 1,25 МГц и длиной волны 3 мм). Размеры образцов (в направлении озвучивания) строго контролировались таким образом, чтобы бегущие волны в них могли трансформироваться в стоячие: расстояние в направлении озвучивания между гранями кубика горной породы выдерживалось кратным числу длин полуволн. Затем нагнеталось давление до тех пор, пока озвучиваемые образцы не начинали разрушаться. Контрольная группа аналогичных образцов разрушалась без озвучивания.

В результате было установлено, что озвучиваемые стоячими волнами образцы разрушались (расслаивались) по множеству поверхностей конусовидной формы наподобие структуры «вложенных конусов» («cone-in-cone»). Толщина этих обломков (черепков) приблизительно составляла 1,5 мм. Разрушение контрольной группы образцов проходило по «обычному» сценарию, т.е. с заложением системы трещин разных ориентировок — от субвертикальных (близких к направлению прилагаемой нагрузки) до наклонных, с углом к оси нагружения не более 45°. В итоге был сделан вывод о том, что стоячие волны способны контролировать процесс разрушения горной породы и разрушение это происходит по системе поверхностей, образованных множеством узловых точек озвучивающей стоячей волны [7].

Теперь рассмотрим зональную дезинтеграцию горных пород вокруг подземных выработок. Из результатов экспериментальных и теоретических исследований, приведенных в книге Ю.Н. Иванова «Ритмодинамика» [6], известно, что может быть только три вида идеально устойчивых волновых систем с минимальными размерами: (1) два осциллятора и стоячая волна между ними; (2) три осциллятора, образующие равносторонний треугольник с длиной стороны, равной стоячей волне; (3) четыре осциллятора в виде равностороннего тетраэдра с длиной ребра, равной длине стоячей волны. Остальные геометрические фигуры, связанные стоячими волнами, имеют перекрестные нецелочисленные связи в виде тех же волн. Нецелочисленные стоячие волны уменьшают устойчивость системы, т.е. делают ее менее стабильной (рис. 1).

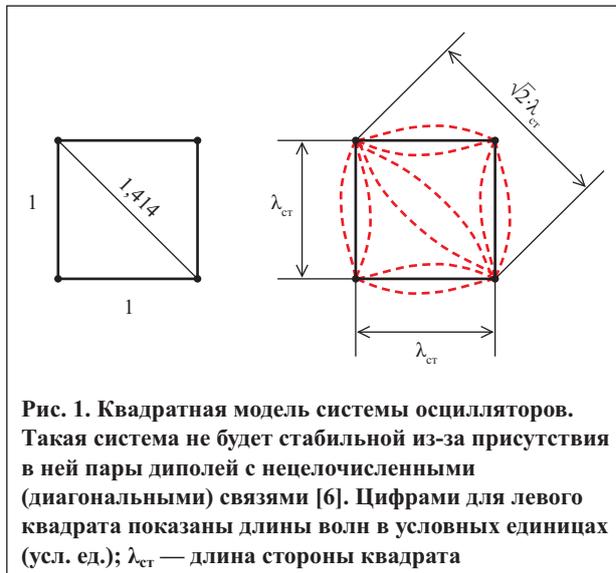


Рис. 1. Квадратная модель системы осцилляторов. Такая система не будет стабильной из-за присутствия в ней пары диполей с нецелочисленными (диагональными) связями [6]. Цифрами для левого квадрата показаны длины волн в условных единицах (усл. ед.); $\lambda_{ст}$ — длина стороны квадрата

Как показано на рис. 1, в квадрате с длиной стороны $\lambda_{ст} = 1$ усл. ед. длина диагонали будет $\lambda_d = \sqrt{2} \approx 1,414$ усл. ед. Это значение ($\sqrt{2}$) входит в описание размера диагонали контура идеальной горной выработки (шахты, штольни и др.) квадратного сечения и вытекает из теоремы Пифагора для прямоугольного треугольника ($a^2 + b^2 = c^2$, где при длинах катетов $a = b = 1$ усл. ед. длина гипотенузы $c = \sqrt{2}$ усл. ед.) [1].

И, как уже было сказано выше, средние значения радиусов и ширина зон разрушения зональной дезинтеграции массива горных пород вокруг контура горной выработки образуют геометрическую прогрессию с основанием $\sqrt{2}$ [10]. Таким образом, сразу возникает предположение о том, что периодичность распределения нарушенных зон вокруг этого контура может быть обусловлена отсутствием устойчивого равновесия в распределении энергии осцилляторов в «квадратной» конфигурации.

Из работ А.Г. Гликмана [2 и др.] известно, что все геологические объекты (и литосферу в целом) следует рассматривать как колебательные системы, в которых могут возникать и взаимодействовать стоячие волны. Конфигурация колебательной системы и количество стоячих волн в ней зависят от формы колеблющегося объекта. При возбуждении колебаний, например, в цилиндрическом объекте (пьезокерамическом диске) возникает система из двух стоячих волн — одной по его толщине и другой по его диаметру [2].

Колебания в литосфере возбуждаются в результате межпланетного гравитационного взаимодействия. Наиболее заметными среди них являются, по-видимо-

му, лунные приливные волны в земной коре, или бегущие волны деформации [4]. Действие бегущих волн предполагает при наличии благоприятных условий (отражающих поверхностей) возникновение в твердой среде (в результате интерференции) системы стоячих волн с их узлами и зонами пучностей. В узлах вещество неподвижно, в пучностях — колеблется и поэтому несколько более пластично, чем в первых. Повышенная хрупкость вещества в узловых зонах является хорошей предпосылкой к избирательному разрушению породы по этим зонам под воздействием сил литостатического давления на больших глубинах.

Таким образом, если рассматривать массив горных пород как колебательную систему, то контур горной выработки квадратного сечения со стороной $\lambda_{ст} = 1$ усл. ед., пройденный в таком массиве, может превращаться в осциллятор, излучающий по горизонтали и по вертикали волны длиной $\lambda_{ст} = 1$ усл. ед., а в диагональных направлениях — $\lambda_d = \sqrt{2}$ усл. ед. В ближайших окрестностях контура горной выработки эти (разбегающиеся от контура) волны трансформируются в стоячие и захватывают контроль над геодинамическими процессами, протекающими в ближайших окрестностях выработки.

Теперь рассмотрим природу степенного коэффициента подобия $(\sqrt{2})^n$. Его значения (при целочисленных $n = 0; 1; 2$ и т.д.) состоят из попеременного чередования целых и дробных чисел. Контур горной выработки квадратного сечения, превращаясь в осциллятор, излучает две волны (контурную и диагональную) разной длины (K и D соответственно), и, таким образом, этот ряд представляет собой не одну, а две последовательности, одна из которых — диагональная, кратная $\sqrt{2}$, а другая — контурная, кратная 2 (см. таблицу).

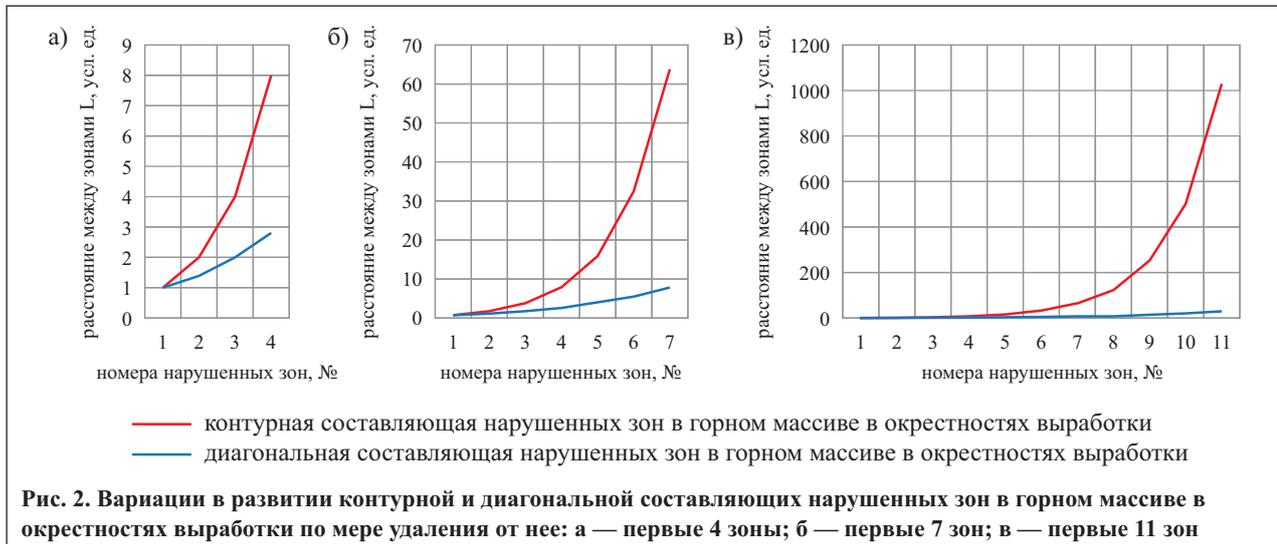
В итоге в окрестности контура горной выработки возникнут две стоячие волны — диагональная и контурная, формирующие зоны разрушения на расстояниях от нее, определяемых последовательностями D и K (см. таблицу). При этом каждая следующая зона нарушений (система узлов стоячей волны) отделена от предыдущей в два раза большим расстоянием. Такая избирательность в локализации нарушенных зон с последовательным удвоением расстояний от источника осцилляций по мере удаления от него обуславливается шаговым ритмом [10] протекания процесса. Первый шаг — разрушения на контуре выработки, следующий — появление первой зоны разрушений, после чего начинает осциллировать уже не этот контур, а поверхность первой зоны, которая будет иметь

Таблица

Зоны разрушения в окрестности выработки (D — диагональ, K — контур)												
Длина волны	№ зоны разрушения											
	0**	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	и т.д.
Диагональной, D , усл. ед.*	1	$\sqrt{2}$	2	$2\sqrt{2}$	4	$4\sqrt{2}$	8	$8\sqrt{2}$	16	$16\sqrt{2}$	32	и т.д.
Контурной, K , усл. ед.	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1024	и т.д.

* Усл. ед. — условные единицы.

** 0 — контур выработки.



в два раза больший размер, чем он, и, соответственно, излучать волны в два раза большей длины. Это обстоятельство приводит к появлению второй зоны разрушений, удаленной от контура выработки на в два раза большее расстояние. Вторая зона, превращаясь в осциллятор, порождает третью и т.д. Диагональная и контурная волны пошагово «захватывают» пространство с разной «скоростью»: контурная действует более эффективно (рис. 2).

Узлы диагональной волны через раз совпадают с узлами контурной, что никоим образом не мешает их распространению. Эта ситуация через некоторое время приводит к возникновению в породах вокруг контура выработки последовательной серии нарушенных зон, пространственное распределение которых будет на первый взгляд описываться зависимостью с коэффициентом подобия $(\sqrt{2})^n$ (где n — целое число и порядковый номер зоны разрушения, возрастающий в направлении от контура горной выработки, для которого $n = 0$).

На рисунке 2 показано развитие зон дезинтеграции пород вокруг горной выработки. Очевидно, что контурная составляющая (как более «агрессивная», способная значительно быстрее достигать земной поверхности и вызывать эффекты «провальной» тектоники) является претендентом на главную роль в списке причин техногенной тектоники.

Выводы

Установлено, что основной причиной упорядоченного характера зональной дезинтеграции массива горных пород вокруг горной выработки с периодическим образованием зон разрушения (с увеличением их размеров в геометрической прогрессии с основанием $\sqrt{2}$) является контролирующее воздействие поля стоячих волн, возбуждаемых в окрестностях этой выработки колебаниями ее контура, на котором генерируются «контурная» и «диагональная» стоячие волны. При этом контурная составляющая (более «агрессивная»), по-видимому, может рассматриваться как основная причина техногенной тектоники.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-05-00082).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1986. 544 с.
2. Гликман А.Г. Спектральная сейсморазведка — истоки и следствия: историко-методологическое повествование / Официальный сайт научно-технической фирмы «Геофизпрогноз». 2009. URL: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book2/>.
3. Голубов Б.Н., Геворкян С.Г. Зависимость режима собственных колебаний и вращений земли от техногенного разрушения ее недр и поверхности // Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000. С. 254–276.
4. Добролюбов А.И. Бегущие волны деформации. М.: Едиториал УРСС, 2003. 144 с.
5. Зональная дезинтеграция горных пород вокруг подземных выработок // Википедия. 2013. URL: wikipedia.org/wiki/Зональная_дезинтеграция_горных_пород_вокруг_подземных_выработок.
6. Иванов Ю.Н. Ритмодинамика. М.: ИАЦ «Энергия», 2007. 215 с.
7. Ильченко В.Л. Результаты экспериментального исследования ультразвукового воздействия на упругие свойства осадочных горных пород под нагрузками // Материалы Всероссийской научной конференции «Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков» / под ред. Н.П. Лаверова, Ю.Н. Авсюка. Т. 3. М.: Изд-во РООУ ППГ, 2002. С. 133–134.
8. Инженерная геология СССР. Платформенные регионы Европейской части СССР. Кн. 2. М.: Недра, 1991. 357 с.
9. Макаров П.В. Самоорганизованная критичность и сейсмический процесс // Материалы Всероссийского семинара-совещания «Триггерные эффекты в геосистемах», г. Москва, 22–24 июня 2010 г. / под ред. В.В. Адушкина, Г.Г. Кочаряна. М.: ГЕОС, 2010. С. 79–87.
10. Первая китайско-российская научная конференция «Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке полезных ископаемых на больших глубинах» // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2011. № 3. С. 111–115.
11. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабашкина Т.А., Жигалин А.Д., Харьковина М.А. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Ноосфера, 2006. 720 с.



ЗАКОНОМЕРНОСТИ ТЕРМОВЛАГОПЕРЕНОСА В ЛЕССОВЫХ ГРУНТАХ

THERMAL MOISTURE TRANSFER REGULARITIES IN LOESSIAL SOILS

КОРОЛЕВ В.А.

Профессор геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
korolev@geol.msu.ru

ФЕДЯЕВА Е.А.

Инженер геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
elena_fedjaeva@mail.ru

KOROLEV V.A.

A professor of the geological faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, korolev@geol.msu.ru

FEDYAEVA E.A.

An engineer of the geological faculty of M.V. Lomonosov Moscow State University, elena_fedjaeva@mail.ru

Ключевые слова:

термовлагодперенос; термоосмос; лесс; лессовый грунт; супесь; температурный градиент; фазовый состав; связанная вода.

Key words:

thermal moisture transfer; thermoosmosis; loess; loessial soil; sandy loam; temperature gradient; phase composition; bound water.

Аннотация

В статье рассмотрены закономерности и особенности термовлагодпереноса в лессовых грунтах на основе новых и ранее полученных данных. Анализ выполнялся с помощью треугольных диаграмм фазового состава этих грунтов. Изучены специфические факторы, влияющие на параметры термовлагодпереноса в лессах, роль видов воды и структуры порового пространства.

Введение

Термовлагодперенос широко распространен в природных условиях во всех случаях, когда в грунтовых массивах при их неполном водонасыщении возникают температурные градиенты. Наиболее часто он осуществляется вблизи дневной поверхности дисперсных грунтов зоны аэрации вследствие температурного градиента, направленного вертикально вниз (летом) либо вверх (зимой). В первом случае термовлагодперенос направлен против восходящего потока испарения влаги и препятствует ему; во втором — способствует испарению. При резкой и значительной суточной смене дневных и ночных температур (что характерно для регионов с резко континентальным климатом) температурный градиент грунтов зоны аэрации меняет свое направление в течение суток, вызывая соответствующие суточные изменения в направлении потоков термовлагодпереноса. Все эти процессы особенно характерны для почв и массивов лессовых грунтов [8, 16], часто залегающих в виде покровных отложений зоны аэрации.

Кроме того, термовлагодперенос возникает в лессовых грунтах вблизи любых искусственных источников тепла (теплотрасс, коллекторов, трубопроводов, горячих цехов и др.), создающих техногенный температурный градиент. Последний в отличие от природного, как правило, имеет большую интенсивность и вызывает значительно больший влагодперенос.

Термовлагодперенос в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах имеет сложную природу. При наложении на грунт постоянного градиента температуры ($\text{grad}T = \Delta T/\Delta x$, где ΔT — разность температур горячего и холодного концов образца; Δx — длина образца) в его поровом пространстве начинают возникать потоки диффузии водяного пара, термоосмотическое, термоменисковое и термокапиллярное течение воды [9]. Эти потоки всегда направлены от горячей к холодной части грунта. В результате происходит перераспределение влаги в лессе, при этом меняется его влажность, а следовательно, и свойства, в связи с чем про-

Abstract

Regularities and peculiarities of thermal moisture transfer in loessial soils are considered on the basis of new and formerly obtained data. The analysis is carried out using phase composition triangular diagrams of the soils. Specific factors influencing thermal moisture transfer parameters in loesses, the roles of water kinds and pore space structure are studied.



гнозирование этих изменений имеет большое практическое значение [3].

Ранее авторами было изучено влияние фазового состава грунта на параметры неизотермического влагопереноса в песчаных отложениях, а также выявлено влияние гранулометрического состава на параметры неизотермического влагопереноса в различных природных дисперсных грунтах [10–12]. Целью настоящей работы является изучение влияния фазового состава на параметры неизотермического влагопереноса в лессовых грунтах.

Именно для массивов лессовых грунтов, слагающих многометровые толщи зоны аэрации, процессы термо-влагопереноса являются наиболее значимыми при формировании в них полей влажности. Поэтому в данной работе необходимо было решить следующие задачи: (1) изучить влияние влажности лессов на параметры термовлагопереноса; (2) оценить влияние на эти параметры структурных особенностей лессов; (3) выявить влияние на них фазового состава лессовых грунтов и провести сравнительный анализ этих параметров с таковыми для песков.

Объекты исследований

В качестве объектов исследования были выбраны типичные лессы и наиболее распространенные лессовые грунты, образцы которых были отобраны в районах таких городов Средней Азии и Украины, как Алмалык (долина реки Ахан-Гаран, Узбекистан), Душанбе (Таджикистан), Запорожье (Украина), Дангара (Таджикистан), Алма-Ата (Казахстан), Колхозабад (Таджикистан), Самарканд (Узбекистан), а также из района Мусульманабадского перевала в Таджикистане.

Для всех изученных грунтов по известным методикам [13] были определены минеральный и гранулометрический состав, а также показатели физических и физико-химических свойств. Минеральный состав лессов и лессовых грунтов довольно близок: породообразую-

щими минералами в них являются кварц и полевые шпаты; среди глинистых минералов преобладают иллит (45–60%), смешаннослойные минералы (10–25%), хлорит (5–20%), смектит (0–20%) и каолинит (5%). Содержание карбонатов варьирует от 3 до 15%, водорастворимых солей — от 0,06 до 0,96%.

Гранулометрический состав исследованных грунтов показан в табл. 1, физические и физико-химические свойства — в табл. 2.

Кроме того, изучались микроструктурные особенности лессовых грунтов (рис. 1–3) с помощью растровых электронных микроскопов типа JEOL и LEO 1450VP¹. Микростроение среднего лессовидного суглинка из района г. Алмалык (образца 1, табл. 1, 2) показано на рис. 1 при разных увеличениях, а особенности микростроения тяжелого лессовидного суглинка из района г. Душанбе (обр. 2, табл. 1, 2) в естественном и нарушенном сложении показаны на рис. 2. Как видно из представленных фотографий, исследуемые лессовые грунты имеют типичную для лессов скелетную микроструктуру, сформированную пылеватыми частицами и агрегатами псевдоокруглой и неправильной формы, которые покрыты более мелкими частицами глинистых минералов. За счет последних между пылеватыми частицами и агрегатами формируются точечные (переходные) контакты, а лессы приобретают структурную прочность.

Из рисунка 1, в следует, что даже в нарушенном состоянии в строении лесса присутствуют макропоры, которые, вероятно, способствуют облегчению процесса переноса влаги. Поэтому, несмотря на увеличение дисперсности, интегральные характеристики термовлагопереноса для лесса превышают таковые для песков. На «абсолютные» же характеристики, вероятно, дисперсность оказывает решающее влияние, хотя при этом все же происходит некоторая «корректировка» за счет величины пор.

¹ Исследования проводились В.Н. Соколовым.

Таблица 1

Гранулометрический состав исследованных лессовых грунтов								
№ образца	Наименование грунта по классификации С.С. Морозова	Район отбора	Содержание частиц (%) размером (мм)					
			< 0,1	0,1–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
1	Суглинок средний лессовидный	г. Алмалык	4	14	44	18	11	9
2	Суглинок тяжелый лессовидный	г. Душанбе	4	1	49	17	15	14
3	Суглинок тяжелый лессовидный	Мусульманабадский перевал	-	3	42	26	11	18
4	Лесс среднесуглинистый тонкопесчанистый	г. Запорожье	5	28	26	8	8	25
5	Суглинок легкий лессовидный	г. Дангара	-	1	70	16	11	2
6	Суглинок средний лессовидный	г. Алма-Ата	-	6	45	14	13	22
7	Лесс легкосуглинистый крупнопылеватый	г. Колхозабад	-	8	66	14	5	7
8	Суглинок средний лессовидный	г. Самарканд	-	9	47	12	11	21

Таблица 2

Физические и физико-химические свойства исследованных грунтов								
№ образца	Наименование грунта по классификации С.С. Морозова	Природная влажность W_n , %	Гигроскопическая влажность W_g , %	Нижний предел пластичности W_p , %	Верхний предел пластичности W_L , %	Влажность капиллярной влагоемкости W_c , %	Плотность твердой фазы ρ_s , г/см ³	Плотность грунта ρ , г/см ³
1	Суглинок средний лессовидный	3,5	1,8	18,7	25,7	32	2,72	1,35
2	Суглинок тяжелый лессовидный	12,0	1,9	21,0	42,5	-	2,72	1,83
3	Суглинок тяжелый лессовидный	8,0	6,5	19,0	33,0	-	2,68	1,64
4	Лесс среднесуглинистый тонкопесчаный	13,0	4,1	18,1	26,0	-	2,68	2,67
5	Суглинок легкий лессовидный	12,0	2,0	22,0	25,0	-	2,84	1,35
6	Суглинок средний лессовидный	18,4	2,1	20,0	28,9	-	2,68	1,44
7	Лесс легкосуглинистый крупнопылеватый	6,0	0,8	22,0	29,4	-	2,68	1,56
8	Суглинок средний лессовидный	15,0	0,9	19,0	26,0	-	2,68	1,78

Для характеристики влияния форм воды и степени водонасыщения пор на параметры термовлагопереноса авторами использовались треугольные диаграммы фазового состава содержания категорий влаги в исследуемых лессовых грунтах [9]. Пример такой диаграммы для лессового грунта из района г. Запорожья представлен на рис. 4. На ней помимо области возможного изменения фазового состава исследуемого грунта в диапазоне от рыхлого до плотного сложения при разном соотношении твердой ($\Delta_{тв}$) жидкой ($\Delta_{ж}$) и газообразной ($\Delta_{г}$) фаз нанесены области существования различных энергетических категорий воды, показанные штриховкой и крапом, а также изотермы давления (потенциала) влаги P_e . Из левого нижнего угла диаграммы выходят линии одинаковой весовой влажности грунта (W , %), характеристические значения которой показаны на наклонной шкале справа, где $W_{мав} \approx W_{mg}$ — влажность максимально-адсорбированной и капиллярно-конденсированной влаги; W_{mmc} — влажность максимальной молекулярной влагоемкости (по А.Ф. Лебедеву); W_p — влажность нижнего предела пластичности; W_L — влажность верхнего предела пластичности; $W_{нв}$ — влажность полной влагоемкости.

В лессовых грунтах согласно работам [5–8, 16, 18] можно выделить воду следующих основных категорий: 1 — связанной полимолекулярной адсорбции; 2 — осмотическую, количество которой в лессах весьма мало; 3 — капиллярно-стыковую и частично осмотическую (эти две категории выделяются вместе из-за сложности их «разделения»); 4 — собственно капиллярную; 5 — капиллярную и «механически захваченную». Кроме того, при полном водонасыщении (при влажности полной влагоемкости $W_{нв}$) в лессах появляется свободная вода. На диаграмме, представленной на рис. 4, это соответствует нулевому значению давления влаги ($P_e = 0$).

Методика исследований

Образцы лессовых грунтов изучались как в естественном, так и в нарушенном сложении. Для них определялись параметры термовлагопереноса по ранее разработанной авторами методике [10, 12, 21, 22]. Ее суть состоит в том, что анализируемый образец длиной 10 см (нарушенного или естественного сложения с известными исходными параметрами влажности-плотности) герметизируется в специальном приборе, после чего задается температурный градиент, в результате чего с течением времени происходит перераспределение влаги по длине образца (рис. 5). Затем он разрезается по длине на части, в каждой из которых определяются влажность и плотность. По этим результатам строятся профили влажности по длине образца (см. рис. 5), получаемые в разные промежутки времени на параллельных образцах-близнецах. Затем по профилям рассчитываются параметры термовлагопереноса.

В итоге оценивались следующие характеристики термовлагопереноса: коэффициенты влагопереноса D_w и термовлагопереноса D_T , скорость перераспределения влаги через среднее сечение образца V , максимальный поток влаги q_{wT} , перепад влажностей между холодным и горячим торцами образца $(\Delta W)_{хг}$, доля перераспределенной влаги Σ_{wT} , а также термоградиентный коэффициент (δ). Для анализа полученных параметров термовлагопереноса использовалась треугольная диаграмма фазового состава, методика построения которой изложена в работах [9, 10].

Результаты и их обсуждение

В результате выполненных исследований удалось установить влияние нескольких факторов на параметры термовлагопереноса лессовых грунтов.



Эксперименты, проведенные авторами ранее на различных грунтах [10–12], показали, что на параметры термопереноса влаги значительное влияние оказывают многие факторы. Среди них на первом месте стоит *литологический тип грунтов*. Особенно большие различия наблюдаются между параметрами неизотермического влагопереноса песков, лессов и глин с ненарушенной структурой: величины D_T , q_{wT} , V для песков и лессов на порядок больше, чем для глин при одинаковых характеристических влажностях [12].

Указанное увеличение параметров термовлагопереноса у песков и лессов по сравнению с глинами можно объяснить прежде всего различиями в структуре и гранулометрическом составе этих грунтов. Понижение дисперсности и уменьшение удельной поверхности влияют на количество и долю связанной (а также капиллярной) воды вокруг частиц, а также на величину свободного («транзитного») пространства, в частности

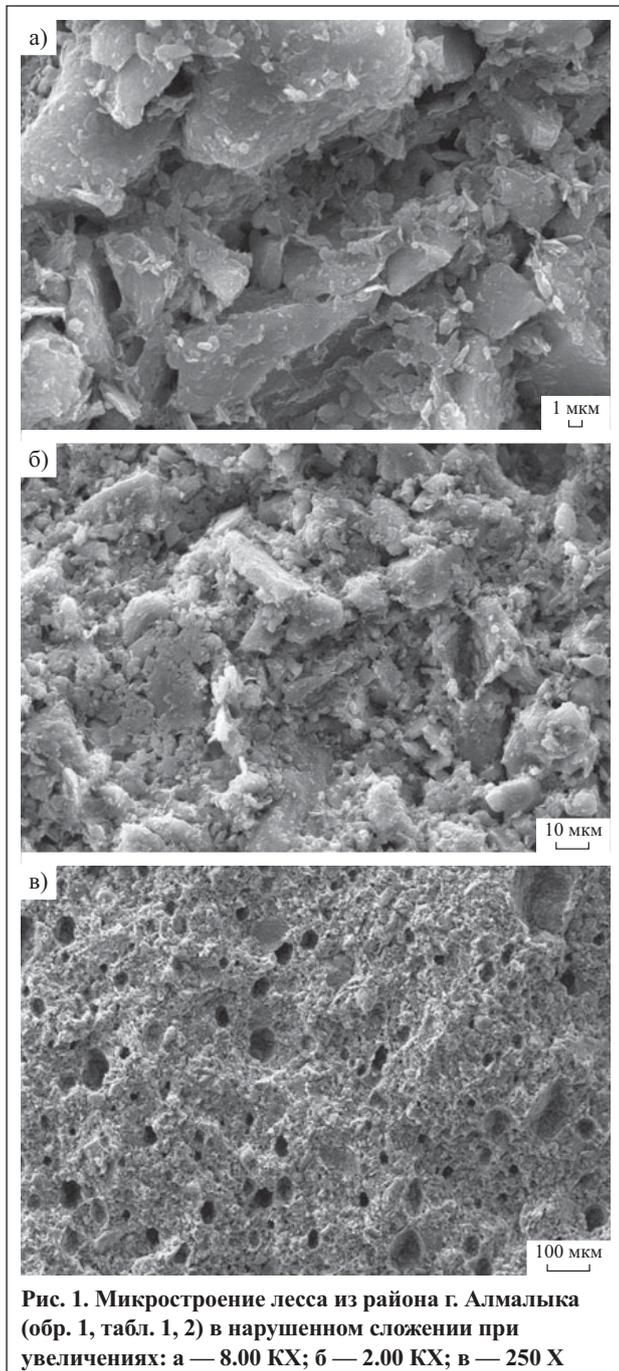


Рис. 1. Микростроение лесса из района г. Алмалык (обр. 1, табл. 1, 2) в нарушенном сложении при увеличениях: а — 8.00 X; б — 2.00 X; в — 250 X

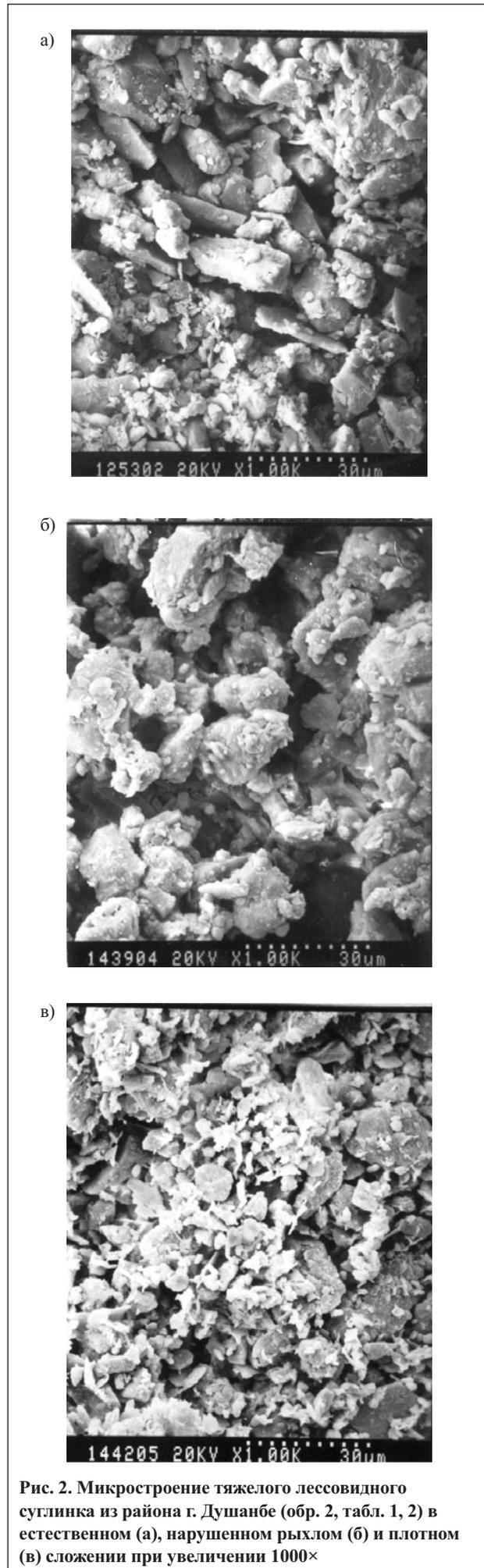


Рис. 2. Микростроение тяжелого лессовидного суглинка из района г. Душанбе (обр. 2, табл. 1, 2) в естественном (а), нарушенном рыхлом (б) и плотном (в) сложении при увеличении 1000×

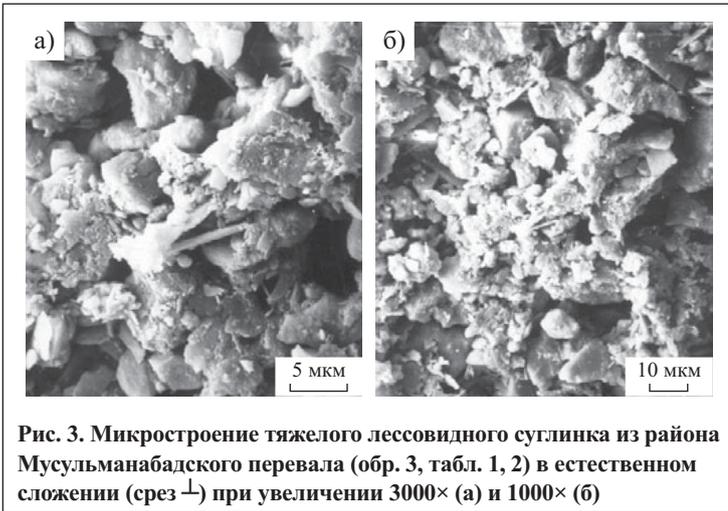


Рис. 3. Микростроение тяжелого лессовидного суглинка из района Мусульманабадского перевала (обр. 3, табл. 1, 2) в естественном сложении (срез \perp) при увеличении 3000 \times (а) и 1000 \times (б)

на толщину капилляров, способных пропускать поток влаги в виде пара. Кроме того, в глинах намного больше ультрапор, поэтому их влагопроводность значительно ниже, чем у лессов. Этим объясняется значительное уменьшение скорости термопереноса влаги у глин по сравнению с лессами.

Полученные результаты показали, что параметры неізотермического влагопереноса для лессов с естественной структурой близки по величине параметрам термовлагопереноса песков, а в некоторых случаях даже превышают последние. Это объясняется, вероятно, наличием значительной макропористости у лессов. Поэтому, несмотря на то что дисперсность лессов выше, чем песков, и следовательно, большее количество пор меньшего размера должно было бы уменьшать процесс влагопереноса, он увеличивается благодаря присутствию в лессах большого количества свободного пространства, доступного для эффективного проникновения влаги в виде пара или пленочного течения. При этом повышение дисперсности лессов по сравнению с песками сказывается на смещении характерных точек (перегибов) в область больших величин влажности (см. рис. 6) [3, 12].

В результате дальнейшего изучения особенностей термовлагопереноса в лессовых грунтах их сходство и различия с таковыми для песчаных грунтов в целом подтвердились [11], а использование треугольных диаграмм придало этому сравнению большую точность и наглядность.

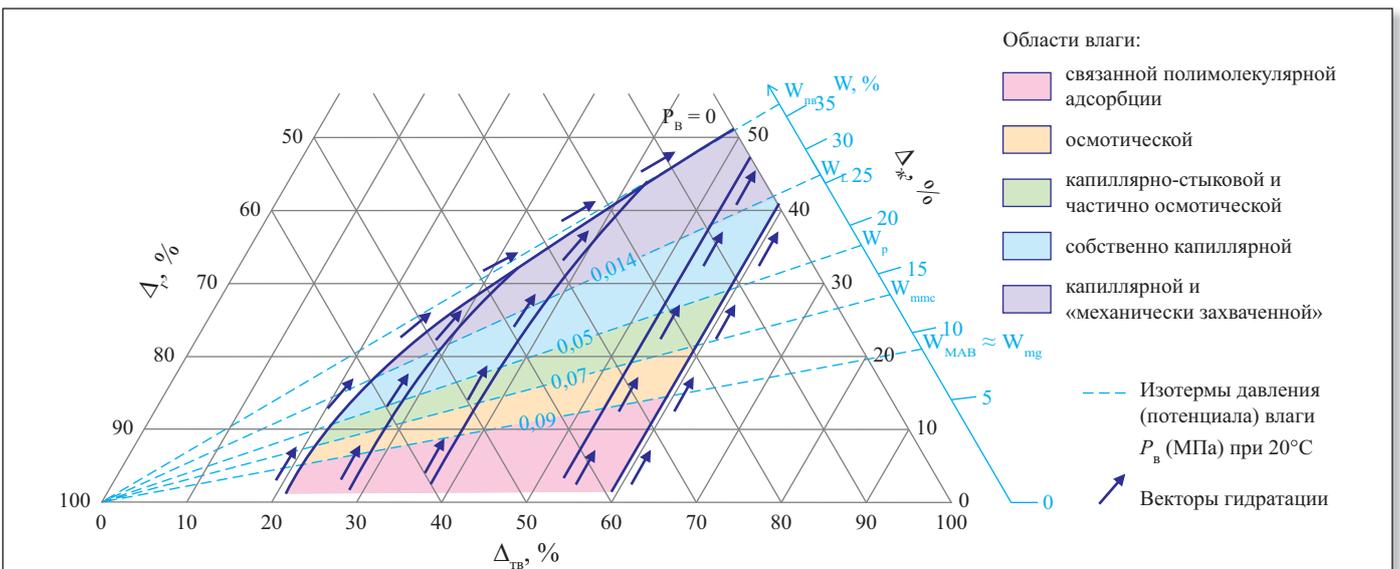


Рис. 4. Диаграмма фазового состава и содержания категорий влаги в лессовидном суглинке из района г. Запорожья (обр. 4, табл. 1, 2) при его гидратации

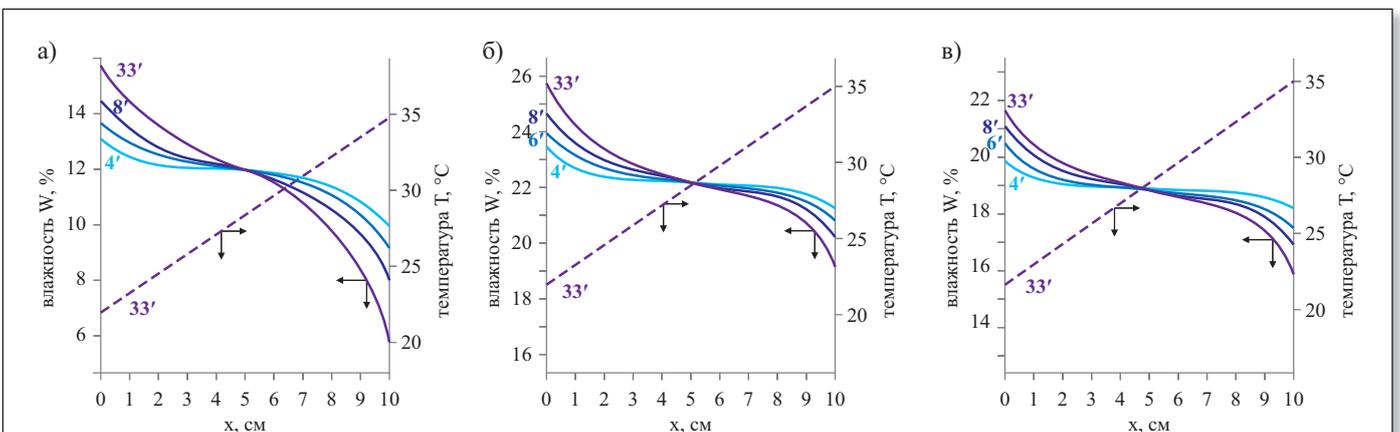


Рис. 5. Профили влажности (W) и температуры (T) по длине образцов изучаемых лессовых грунтов: а — тяжелый лессовидный суглинок (обр. 2, табл. 1, 2) с естественной структурой и $W = 12\%$; б — то же при $W = 22\%$; в — лессовидный суглинок (обр. 3, табл. 1, 2) с естественной структурой и $W = 19\%$. Цифры у кривых — время от начала опыта, ч

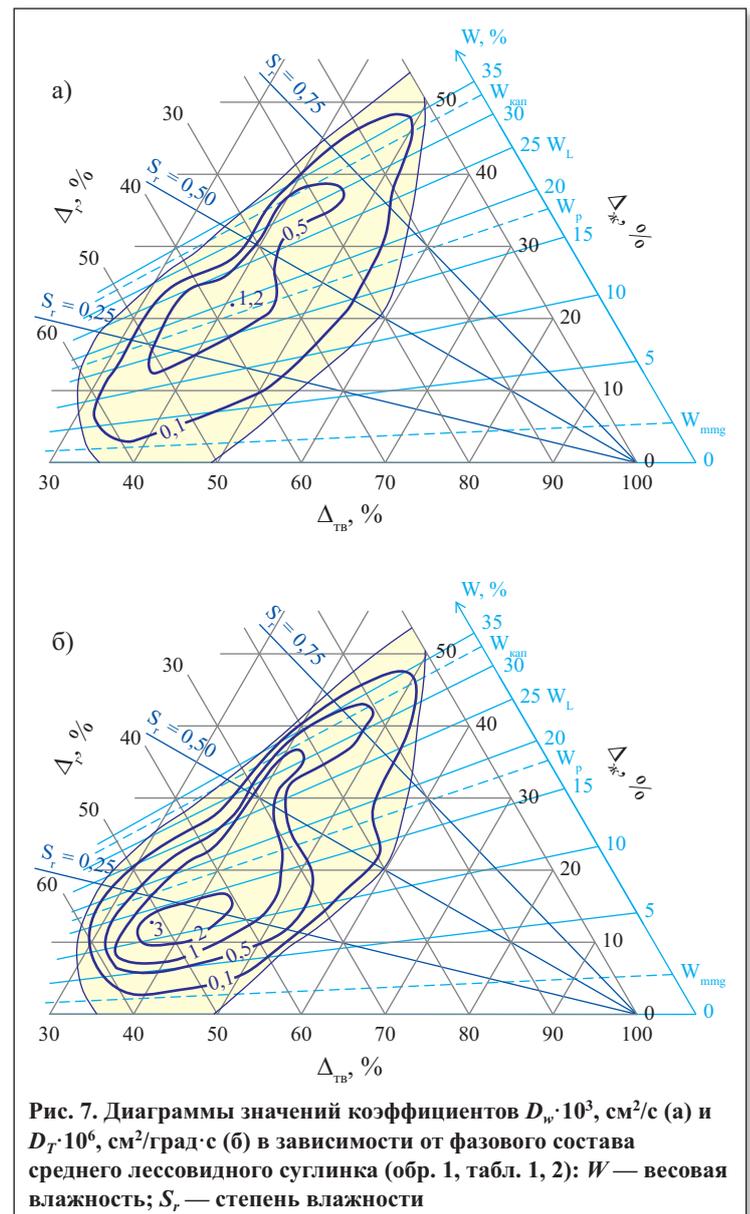
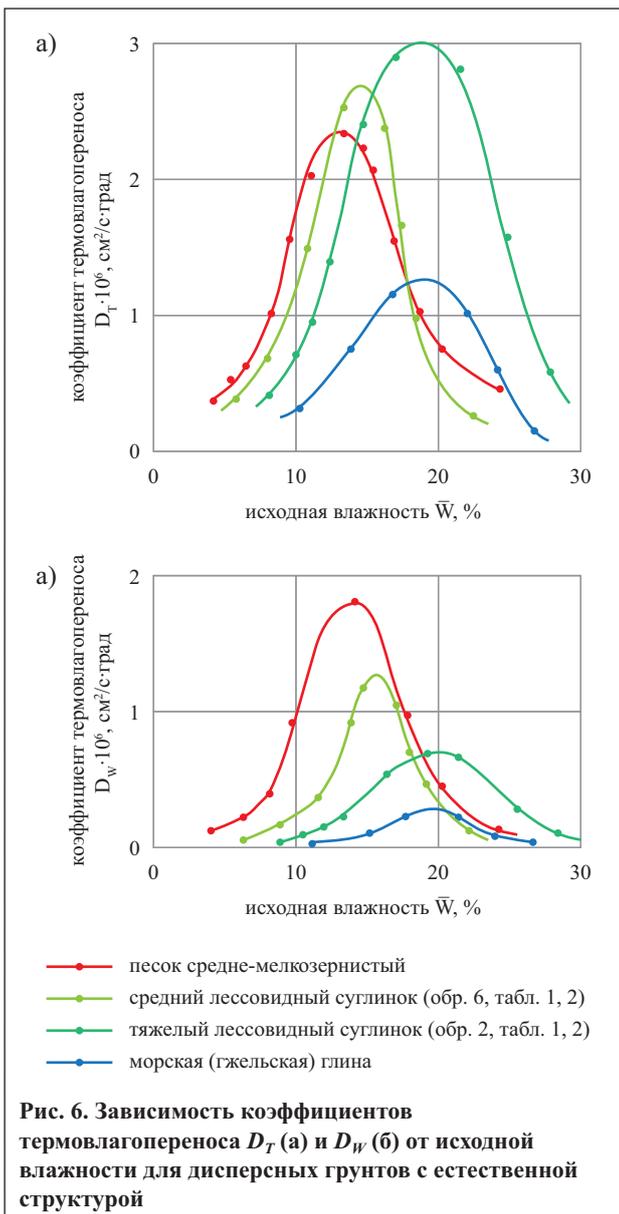


Другим важным фактором, влияющим на параметры термовлагопереноса в лессах, являются **особенности их строения**, в частности структура и текстура. Как известно, лессовые грунты обладают очень специфической макро- и микроструктурой [3, 14, 17, 19]. Особенности макростроения массивов лессовых грунтов обусловлены их цикличностью, а особенности микростроения этих грунтов объясняются сложностью морфологии их порового пространства и специфическим строением частиц пылеватой фракции [3].

Важной особенностью строения лессовых грунтов является анизотропия их микроструктуры, которая обусловлена прежде всего наличием у них отмечаемой многими авторами [14, 17, 19] вертикальной макропористости. Последняя сформировалась за счет процессов массопереноса в лессовой толще, происходящих в вертикальном направлении. К таким процессам относятся инфильтрация осадков, термовлагоперенос, вызванный сезонными или суточными вертикальными температурными градиентами, испарение влаги и др. За счет микроструктурной анизотропии коэффициент фильтрации лессов в вертикальном направлении всегда выше, чем в горизонтальном.

Другим важным фактором, влияющим на параметры термовлагопереноса в лессовых грунтах, является их **влажность**, а точнее, наличие в них тех или иных энергетических категорий воды (см. рис. 4), а также степень заполнения пор водой (S_r). Специфические особенности влаги в лессовых грунтах изучались рядом авторов в связи с анализом формирования их различных свойств, включая просадочность [5–8, 16, 18]. Одновременное влияние и структуры, и влажности на параметры термовлагопереноса лессов удобно характеризовать с помощью вышеуказанных треугольных диаграмм фазового состава.

В силу особенностей строения и свойств лесса область возможного изменения его фазового состава несколько смещена на треугольной диаграмме влево и вверх относительно положения песков, т.е. лессу свойственна меньшая плотность скелета, а свободная вода в нем появляется при значительно большей весовой влажности. В целом же закономерности распределения значений параметров термовлагопереноса для лессовых грунтов весьма схожи с таковыми для песков с высокой влажностью капиллярной влагоемкости, особенно с пылеватым песком.



Например, расположение на треугольной диаграмме значений коэффициента влагопереноса D_w исследованного лесса из района г. Алмалыка носит все тот же центрально-симметричный характер, при этом область максимальных значений располагается в диапазоне влажностей верхнего и нижнего пределов пластичности, что говорит о значительном вкладе в этот процесс капиллярной и частично осмотической воды (рис. 7, а). Наибольшая величина этого показателя ниже, чем у песков: $D_w = 1,2 \cdot 10^{-3}$ см²/с при $W = 19,1\%$ и $\rho_d = 1,1$ г/см³, $S_r = 0,353$ [11].

Значения коэффициента термопереноса D_T для среднего лессовидного суглинка из района г. Алмалыка (обр. 1, табл. 1, 2) в целом также располагаются на треугольной диаграмме центрально-симметрично, однако область наибольших значений D_T сильно смещена вниз и соответствует значениям влажности, меньшим, чем W_p (см. рис. 7, б). Максимальная величина коэффициента D_T лесса практически равна таковой для пылеватого песка ($2,97 \cdot 10^{-6}$ см²/град·с) и зафиксирована при $W = 12,6\%$ и $\rho_d = 0,98$ г/см³, $S_r = 0,192$ [11].

Точно такое же расположение изолиний характерно и для параметров термопереноса среднего лессовидного суглинка из района г. Алмалыка, меняющихся во времени (V , q_{wT} , $(\Delta W)_{xz}$ и Σ_{wT}). В той же точке диаграммы отмечаются максимальные величины скорости перераспределения влаги (V_4 и V_{20}) и макси-

мального потока влаги ($q_{wT,4}$ и $q_{wT,20}$) в начале и в конце опыта: $V_4 = 6,54 \cdot 10^{-6}$ см/с; $V_{20} = 1,67 \cdot 10^{-6}$ см/с; $q_{wT,4} = 9,4 \cdot 10^{-2}$ г/см²; $q_{wT,20} = 13,9 \cdot 10^{-2}$ г/см² (рис. 8–11). Легко видеть, что эти величины для лесса в первые четыре часа от начала опыта достаточно велики и превосходят аналогичные величины для большинства изученных ранее песков [11].

Со временем процесс переноса влаги в лессе, как и в песках, замедляется, однако происходит это почти так же медленно, как и в пылеватом песке. Следовательно, величина максимального потока влаги q_{wT} , по причине, изложенной нами в статье [11], со временем возрастает (рис.9).

Наибольшая величина перепада влажности $(\Delta W)_{xz}$ в первые часы от начала опыта также отмечается все в той же точке диаграммы и равна 8,4 %/см, т.е. также выше, чем для большинства песков, что укладывается в описанную ранее закономерность: максимальные значения параметра $(\Delta W)_{xz}$ в целом увеличиваются с увеличением дисперсности грунта (рис. 10). Со временем $(\Delta W)_{xz}$ еще больше возрастает, а максимальное его значение становится значительно больше таковых для песков (17,1 %/см) и отмечается уже при меньшей плотности скелета и при влажности, близкой к W_p ($W = 18,33\%$; $\rho_d = 0,83$ г/см³; $S_r = 0,220$). Минимальные же значения $\text{grad}W$ в лессе наблюдаются в случае наиболее рыхлого его сложения при $W \geq W_L$, в случае наи-

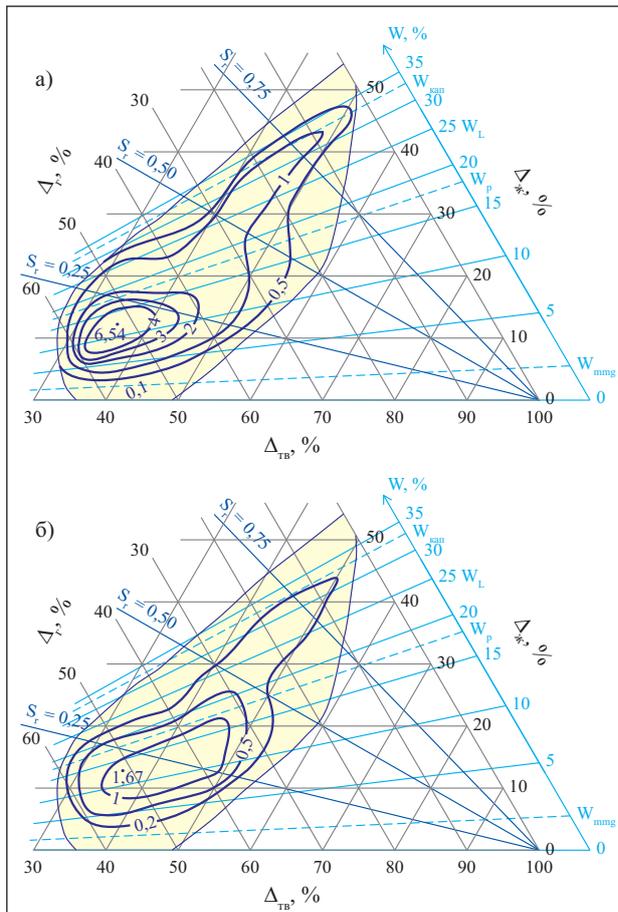


Рис. 8. Диаграммы значений скорости перераспределения влаги $V \cdot 10^6$ (см/с) через 4 (а) и 20 (б) часов от начала опыта в зависимости от фазового состава среднего лессовидного суглинка (обр. 1, табл. 1, 2): W — весовая влажность; S_r — степень влажности

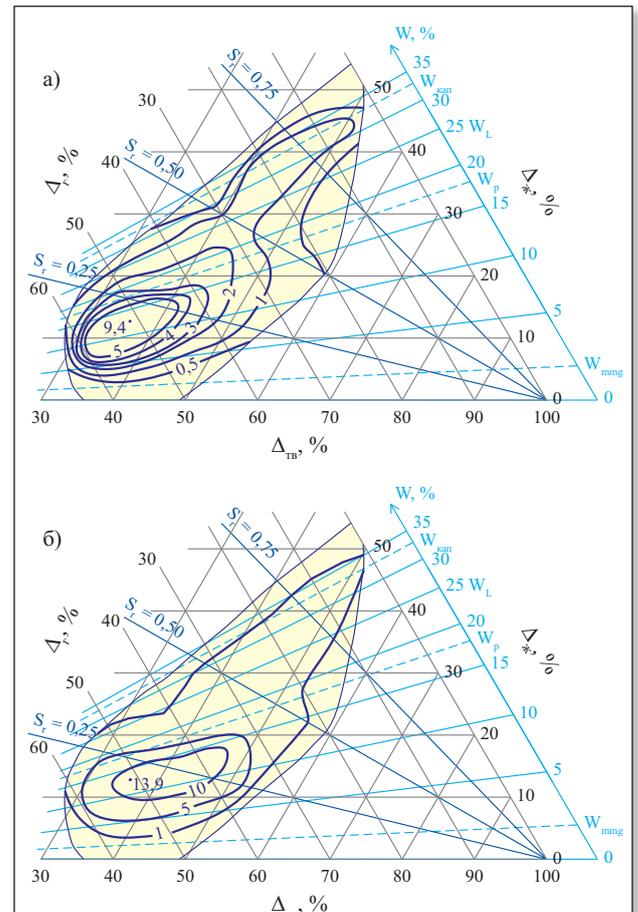


Рис. 9. Диаграммы значений максимального потока влаги $q_{wT} \cdot 10^2$ (г/см²) через 4 (а) и 20 (б) часов от начала опыта в зависимости от фазового состава среднего лессовидного суглинка (обр. 1, табл. 1, 2): W — весовая влажность; S_r — степень влажности



более плотного сложения, а также при наименьших значениях весовой влажности ($\leq W_{mg}$).

Максимальная величина доли перераспределившейся влаги в лессе после первых четырех часов термо-влажопереноса от начала опыта ($\Sigma_{wT} = 7,8\%$) отмечена при $W = 9,64\%$; $\rho_d = 0,91 \text{ г/см}^3$; $S_r = 0,132$ (рис. 11). Эта величина немного ниже, чем у пылеватого песка, т.к. достигается при большей влажности. Со временем она увеличивается примерно в два раза (максимальная величина $15,75\%$ меньше, чем у пылеватого песка, что также соответствует описанной выше закономерности), но расположение области максимальных значений Σ_{wT} в отличие от песков практически не меняется. Эта область на треугольной диаграмме только вытягивается вдоль значений влажности, равных $9,64\text{--}9,75\%$ в диапазоне плотностей скелета грунта от $0,91$ до $1,12 \text{ г/см}^3$. При этом уменьшение этого параметра происходит не только с увеличением влажности (как у песков), но и с ее уменьшением, хотя и незначительным.

Анализируя эти данные, можно отметить, что наиболее благоприятная область для процесса термо-влажопереноса в данном лессовом грунте находится между влажностями W_p и W_{mg} , т.е. в диапазоне активного формирования капиллярных менисков. При дальнейшем заполнении пор лесса водой большинство из них быстро «закупоривается» водой, замедляя тем самым процесс миграции влаги. При этом собственно капил-

лярная влага также принимает заметное участие в этом процессе. Об этом можно судить по достаточно высоким значениям коэффициентов D_W и D_T вплоть до влажности W_L . Однако именно при уменьшении влажности лесса ниже W_p все параметры термо-влажопереноса, особенно меняющиеся во времени, резко возрастают. Но при $W < 5\%$ с приближением к W_{mg} эти параметры снова достаточно резко убывают. Объясняется это тем, что «подвижность» адсорбционной воды оказывается намного меньше, чем у воды в переходном состоянии — от связанной к свободной. Поэтому в этой области даже значения доли перераспределившейся влаги в конце опыта заметно меньше, чем при $W > 5\%$.

Величина влажности, при которой достигаются наибольшие значения параметров термо-влажопереноса, у лессов, как правило, выше, чем у большинства песков [11]. Исключение составляют только три параметра (D_T , V , q_{wT}) и только для песков с отсутствием пылеватой фракции.

Наряду с указанными параметрами авторами также определялся «влажностный» термоградиентный коэффициент δ в лессах, характеризующий перепад влажности при изменении температуры на 1°C . Зависимость этого коэффициента от влажности для изученных лессовых грунтов, полученная по изотермам адсорбции в них влаги, показана на рис. 12. Как видно из

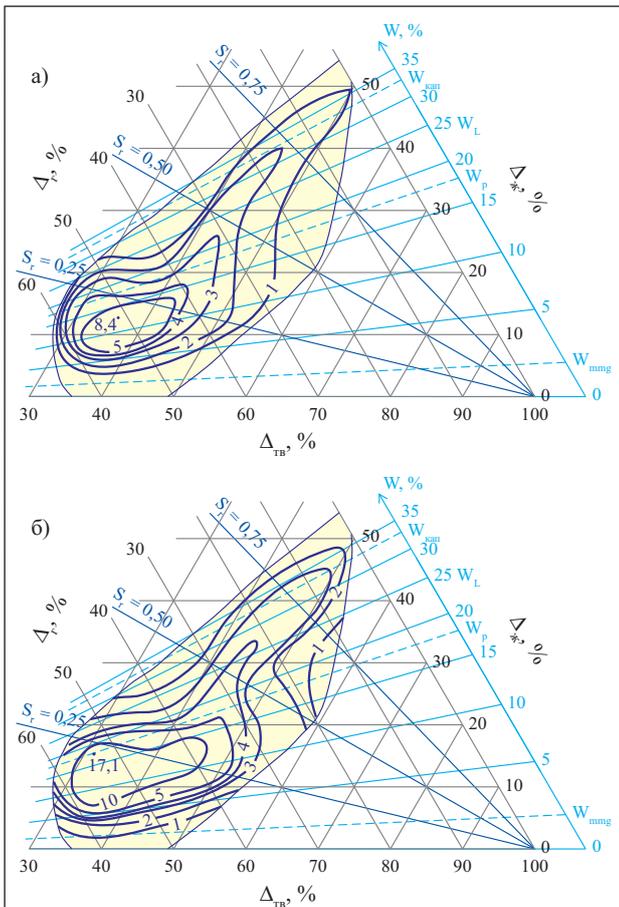


Рис. 10. Диаграммы значений градиента влажности ΔW (%/см) через 4 (а) и 20 (б) часов от начала опыта в зависимости от фазового состава среднего лессовидного суглинка (обр. 1, табл. 1, 2): W — весовая влажность; S_r — степень влажности

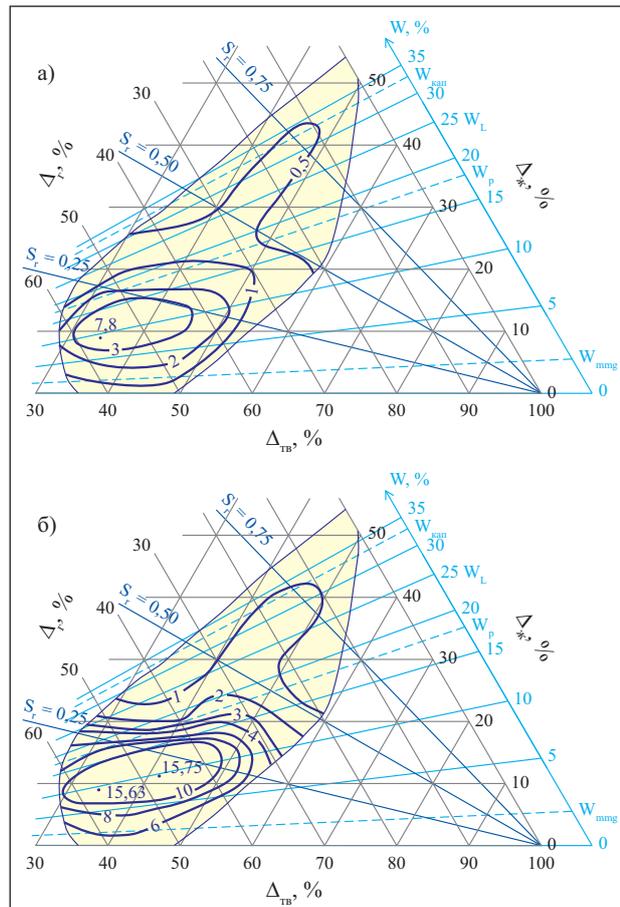
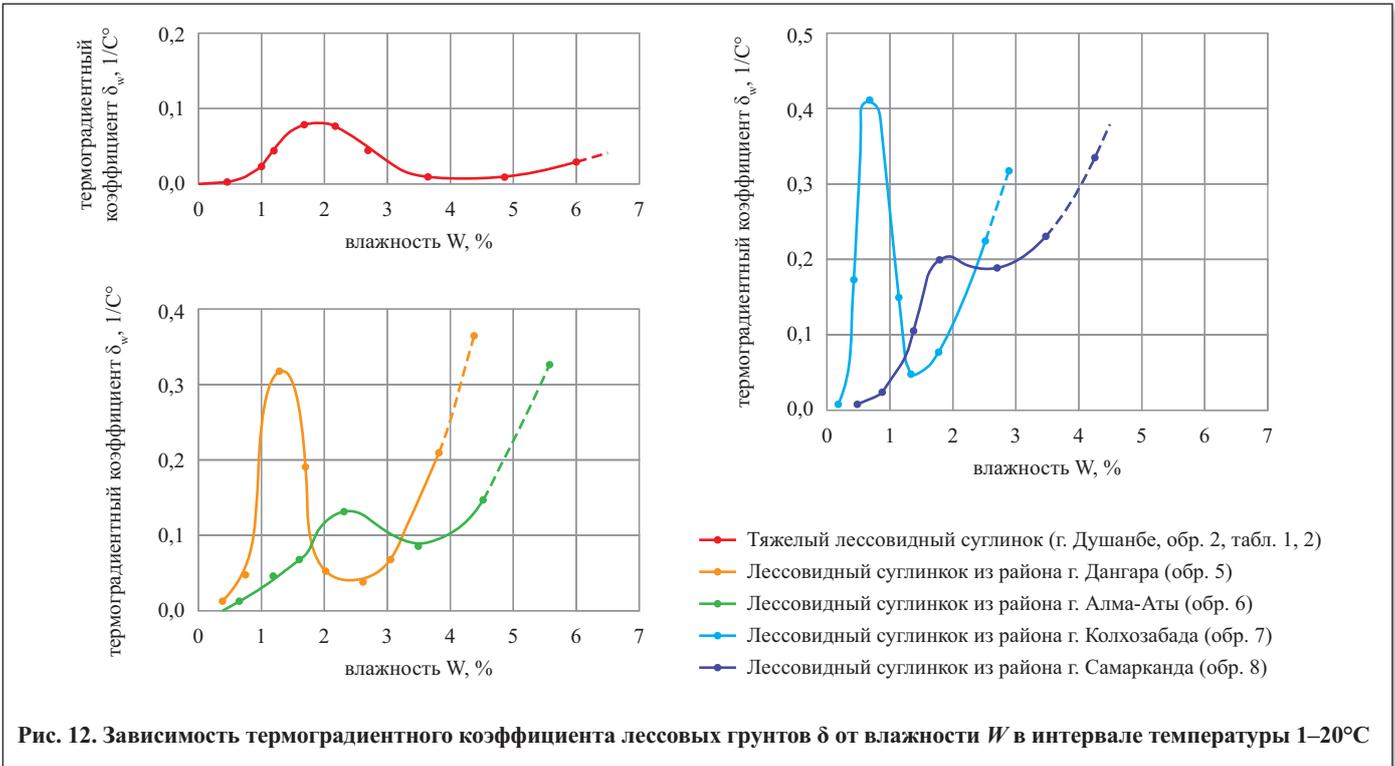


Рис. 11. Диаграммы значений доли перераспределившейся влаги Σ_{wT} (%) через 4 (а) и 20 (б) часов с начала опыта в зависимости от фазового состава среднего лессовидного суглинка (обр. 1, табл. 1, 2): W — весовая влажность; S_r — степень влажности



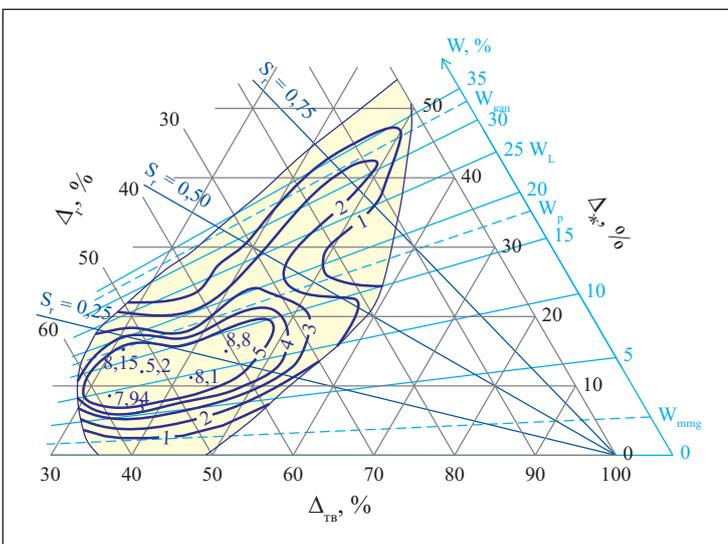
представленных графиков, указанная зависимость имеет сложную форму: кривые характеризуются наличием максимума δ в области малой влажности и минимума δ в области более высокой влажности. Величина термоградиентного коэффициента δ сначала с ростом влажности резко возрастает в области заполнения монослоя (влаги монослойной адсорбции) и достигает максимума при влажности, соответствующей емкости монослоя. При дальнейшем увеличении влажности величина термоградиентного коэффициента δ снижается в области полислойной адсорбции, а затем вновь постепенно возрастает в области формирования влаги капиллярной конденсации. Таким образом, ход зависимости $\delta = f(W)$ в области связанной воды соответствует адсорбционным закономерностям.

Для среднего лессовидного суглинка из района г. Алмалыка (обр. 1, табл. 1, 2) значения термоградиентного коэффициента δ , полученные при разных влажностях и плотностях скелета грунта, были нанесены на треугольную диаграмму (рис. 13). Очевидно, что расположение изолиний для данного параметра схоже с расположением изолиний вышепересмотренных параметров. Однако в центре области наибольших значений параметра δ (как раз в точке, соответствующей максимальным значениям параметров $D_T, V, q_{wT} (\Delta W)_{\Sigma}$ и Σ_{wT} при $W = 12,6\%$, $\rho_d = 0,98 \text{ г/см}^3$, $S_r = 0,192$) наблюдается некоторое понижение его величины до $5,2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$ по сравнению с окружающими точками, значения которых достигают $7,94\text{--}8,80 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град}$. Таким образом, здесь также отмечается два максимума, но при более высоких значениях влажности, чем у вышепересмотренных грунтов.

Выводы

В результате проведенного исследования по изучению термовлагопереноса в лессовых грунтах можно сделать следующие выводы.

1. Установлено, что расположение на треугольных диаграммах значений коэффициента влагопереноса D_w носит центрально-симметричный характер. При этом область максимальных значений располагается в диапазоне влажностей верхнего и нижнего пределов пластичности, т.е. в области собственно капиллярной воды, а область наибольших значений остальных параметров термовлагопереноса сильно смещена на диаграммах вниз и соответствует значениям влажности, меньшим, чем W_p , т.е. находится в области капиллярно-стыковой и частично осмотической воды. Установлено, что максимальная величина коэффициента D_w (а следовательно, и изотермическая влагопроводность за счет диффузии влаги) для лессовых грунтов меньше, чем у песков, а максимальная величина коэффициента D_T (термопере-





нос влаги за счет всех неизотермических составляющих) практически равна таковой для пылеватого песка.

2. Выявлено, что максимальные величины скорости перераспределения влаги и максимального потока влаги для лесса в начале опыта, как правило, выше, чем у песков. В завершении опыта скорость, как и у песков, падает, а поток возрастает, величина же этих показателей немного ниже, чем у пылеватого песка.

3. Установлено, что наибольшая максимальная величина перепада влажностей (ΔW)_{кз} в течение опыта увеличивается и ее значения для лессовых грунтов превышают таковые для песков. Максимальная величина доли перераспределенной влаги Σ_{wT} в продолжение опыта также увеличивается, но эта величина немного ниже, чем у пылеватого песка.

4. Анализ расположения на треугольной диаграмме изолиний параметров термовлагопереноса показал,

что у лессовых грунтов область наибольших значений этих параметров (за исключением коэффициента D_w) находится при величинах влажности ниже влажности нижнего предела пластичности. При этом максимальные величины отмечаются при $W = 9-13\%$ (что для большинства параметров превышает соответствующую влажность у песков), а дальнейшее уменьшение влажности ведет к уменьшению параметров данного процесса.

5. Подтверждено, что у лессовых грунтов в процесс термовлагопереноса основной вклад вносит вода переходного типа (капиллярная, капиллярно-стыковая и осмотическая). При этом огромное влияние на этот процесс оказывают капиллярные мениски, как, видимо, и у мелких и пылеватых песков, принимая во внимание особенности расположения изолиний большинства их параметров термовлагопереноса. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брилинг И.А., Паиковский И.С. Определение параметров влагопереноса в связи с прогнозом водного режима грунтов // Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Наука, 1982. С. 81–89.
2. Глобус А.М. Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 279 с.
3. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский и др.; под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
4. Дерягин Б.В., Чураев Н.В. Смачивающие пленки. М.: Наука, 1984. 159 с.
5. Злочевская Р.И., Королев В.А., Кривошеева З.А., Богданов И.Я. Роль видов воды при формировании просадочных свойств лессовых пород // Материалы Всесоюзной конференции «Подземные воды и эволюция литосферы». М.: Наука, 1985. Т. 2. С. 395–399.
6. Злочевская Р.И., Королев В.А., Кривошеева З.А., Минервин А.В., Богданов И.Я. О природе гидрофильности и сорбционных свойств лессовых грунтов // Тезисы докладов Всесоюзного совещания «Проблемы лессовых пород в сейсмических районах», Самарканд, 24–26 сентября 1980 г. Ташкент: ФАН, 1980. С. 156–157.
7. Злочевская Р.И., Королев В.А., Кривошеева З.А., Минервин А.В., Богданов И.Я. О природе гидрофильности и сорбционных свойств лессовых пород // Генезис, просадочность лессовых пород и методы их изучения / под ред. Г.А. Мавлянова. Ташкент: ФАН, 1985. С. 271–282.
8. Злочевская Р.И., Кривошеева З.А., Королев В.А. Особенности гидратации-дегидратации глинистых и лессовых пород // Инженерная геология сегодня: теория, практика, проблемы / под ред. Е.М. Сергеева, В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 195–206.
9. Королев В.А. Термодинамика грунтов. М.: Изд-во МГУ, 1997. 167 с.
10. Королев В.А., Федяева Е.А. Влияние фазового состава на параметры термовлагопереноса песчаных грунтов // Инженерные изыскания. 2011. № 10. С. 38–46.
11. Королев В.А., Федяева Е.А. Сравнительный анализ термовлагопереноса в дисперсных грунтах разного гранулометрического состава // Инженерная геология. 2012. № 6. С. 18–31.
12. Королев В.А., Федяева Е.А., Ахромеева Т.Я. Закономерности термовлагопереноса в ненасыщенных дисперсных грунтах // Инженерная геология. 1990. № 3. С. 16–29.
13. Лабораторные работы по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 519 с.
14. Ларионов А.К. Методы исследования структуры грунтов. М.: Недра, 1971. 200 с.
15. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. М.: Недра, 1984. Т. 2. 437 с.
16. Минервин А.В., Королев В.А. Температурная зависимость гидрофильности и просадочности лессовых пород в зоне годовых колебаний температур // Инженерная геология. 1984. № 3. С. 20–35.
17. Мудров Ю.В. Пористость покровных лессовых образований // Проблемы криолитологии. М., 1982. Вып. 10. С. 61–67.
18. Мунир Н.А., Королев В.А. Закономерности формирования потенциала влаги в лессовых грунтах на орошаемых и неорошаемых территориях // Инженерная геология. 1987. № 3. С. 43–49.
19. Сейсмические характеристики лессовых пород в связи с геологическим окружением и техногенезом / Кригер Н.И. и др. М.: Наука, 1980. 104 с.
20. Федяева Е.А., Королев В.А. Влияние фазового состава на параметры термовлагопереноса песчаных грунтов // Материалы 10-й Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М.: Изд-во РГГРУ, 2011. Т. 3. С. 69.
21. Федяева Е.А., Королев В.А. Влияние фазового состава песков на параметры неизотермического влагопереноса // Ломоносовские чтения, посвященные 300-летию со дня рождения М.В. Ломоносова, Москва, 15–17 ноября 2011 г. Секция «Инженерная и экологическая геология». М.: Изд-во МГУ, 2011. URL: <http://geo.web.ru/conf/>.
22. Федяева Е.А., Королев В.А. Исследование влияния фазового состава на параметры термовлагопереноса песчаных грунтов // Материалы 7-й Научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2011. С. 84–87.
23. Федяева Е.А., Королев В.А. Исследование зависимости параметров термовлагопереноса от фазового состава песчаных грунтов // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Урала и сопредельных территорий». Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. С. 41–43.
24. Grifoll J., Gastor J.M., Cohen Y. Non-isothermal soil water transport and evaporation // Advances in Water Resources. 2005. V. 28. P. 1254–1266.
25. Heat and mass transfer in the natural environment — a tribute to J.R. Philip / D. Smiles et al. (eds) // Geophysical Monograph Series. Washington, DC: American Geophysical Society Press, 2002. V. 129. P. 199–212.



ОСОБЕННОСТИ ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЛЕССОВОГО ПСЕВДОКАРСТА (НА ПРИМЕРЕ ЯВАНСКОЙ ДОЛИНЫ В ТАДЖИКИСТАНЕ)

FEATURES OF FRACTAL ANALYSIS OF LOESS PSEUDOKARST (BY THE EXAMPLE OF THE YOVON VALLEY IN TAJIKISTAN)

ЛАВРУСЕВИЧ А.А.

Доцент кафедры инженерной геологии и геоэкологии
Московского государственного строительного университета (МГСУ),
к.г.-м.н., г. Москва, lavrusevich@yandex.ru

ЗАХАРОВ В.С.

Доцент кафедры динамической геологии Московского
государственного университета им. М.В. Ломоносова,
к.ф.-м.н., г. Москва, vszakharov@yandex.ru

ХОМЕНКО В.П.

Профессор кафедры инженерной геологии
и геоэкологии МГСУ, д.г.-м.н., г. Москва,
khomenko_geol@mail.ru

LAVRUSEVICH A.A.

An associate professor of the engineering geology and geoecology
department of Moscow State University of Civil Engineering, doctor
of science (Geology and Mineralogy), Moscow, lavrusevich@yandex.ru

ZAKHAROV V.S.

An associate professor of the dynamic geology department
of M.V. Lomonosov Moscow State University, candidate of science
(Geology and Mineralogy), Moscow, vszakharov@yandex.ru

KHOMENKO V.P.

A professor of the engineering geology and geoecology department
of Moscow State University of Civil Engineering, doctor of science
(Physics and Mathematics), Moscow, khomenko_geol@mail.ru

Ключевые слова:

лессовый псевдокарст; фрактальный анализ; скейлинг;
Яванская долина; Таджикистан.

Key words:

loess pseudokarst; fractal analysis; scaling; Yovon Valley;
Tajikistan.

Аннотация

В статье впервые проведен фрактальный анализ такого сложного и активно развивающегося в последние десятилетия процесса, как лессовый псевдокарст. Показано, что, используя клеточный метод подсчета Мандельброта, можно выявлять формы самоподобия лессового псевдокарста и определять значения фрактальной размерности, характеризующей степень геологического риска. Показано также, что использование теории динамического скейлинга дает возможность не только описать морфологию псевдокарста, но и проследить динамику фрактальных поверхностей лессового псевдокарста в Яванской долине (Таджикистан) за последние 50 лет.

Введение

В последние десятилетия XX и начале XXI в. в естествознании получили широкое распространение идеи нелинейной динамики и фрактальной геометрии. Безусловно, это коснулось также различных направлений геологической науки — геоморфологии, гидрогеологии, инженерной геологии, сейсмологии и др. [1, 3, 13, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 26 и др.].

Особое внимание исследователей привлекают районы взаимодействия технически вооруженного человеческого общества и массивов лессовых пород — сложных геологических образований зоны гипергенеза, границы распространения которых достаточно строго ограничены географической средой.

Лессовые породы реагируют на малейшие изменения термодинамической обстановки, адаптируясь к окружающей среде и с высокой скоростью изменяя свои специфические свойства. Действительно, такие эфемерные свойства этих пород, как недоуплотненность, низкая влажность, наличие неустойчивых структурных связей и др., связаны прежде всего с климатом, характером рельефа, деятельностью живых организмов и техники. Например, просадочность, являющаяся их характерным свойством, сохраняется лишь в районах с радиационным индексом сухости R/Lr больше 1 и не превышающим 3 (R — радиационный годовой баланс, составляющий 30–50 ккал/см²; L — скрытая теплота испарения за год, ккал/г; r — годовое количество атмосферных осадков, г/см²), что ставит планетарному распространению лессовых пород достаточно жесткие границы [9].

Abstract

The authors carry out fractal analysis of such a complex and rapidly developing in recent decades process as loess pseudokarst for the first time. They show that using Mandelbrot's cell counting method it is possible to reveal loess pseudokarst self-similarity forms and to determine the fractal dimension values characterizing the geological risk degree. They also show that applying dynamic scaling theory makes it possible not only to describe the pseudokarst morphology but to trace the fractal surface dynamics of the loess pseudokarst in the Yovon Valley (Tajikistan) for the last 50 years too.



Причины просадочности в основном были определены Н.Я. Денисовым [2]. Согласно его воззрениям (по «принципу Денисова») просадки происходят при наличии некоторой «излишней» для данного грунта пористости. Рассматривая этот принцип, мы видим, что пористость находится в соответствии с естественной влажностью породы и испытываемым ею давлением, которые зависят от существующей географической обстановки (климата, давления вышележащих пород и др.). При таких изменениях параметров географической среды, как, например, повышение давления от наслаивающихся отложений, увеличение влажности породы в связи с изменением климата или некоторые изменения физико-химических условий, происходит сжатие породы и уменьшение пористости, вследствие чего вновь достигается соответствие последней и давления с влажностью. Если же в породе возникают достаточно прочные структурные связи, то определенная пористость может достаточно долго сохраняться и в условиях изменившейся географической среды. Это может иметь место при непромывном режиме почвообразования в условиях аридного климата [8].

Изменение влажности в лессах приводит не только к проявлению просадочности. В последние десятилетия XX и начале XXI в. на территориях распространения лессовых пород в связи с их активным освоением стал очень активно развиваться лессовый псевдокарст (под этим термином авторы понимают результат гидромеханического, гравитационного, биологического и физико-химического зональных процессов, протекающих в недоуплотненных лессовых породах при их избыточном, как правило техногенном, увлажнении и приводящих к образованию форм, очень напоминающих типичные карстовые, — пещер, провалов, воронок, колодцев, оврагов, цирков и др. [10, 11])¹. Подобный процесс характерен лишь для лессовых пород, т.е. для грунтов с особым составом и свойствами, распространенных в ландшафтах определенного типа. Доминирующим в нем является именно механическое отторжение частиц вертикальными турбулентными водными потоками в трещинах, ходах землероев и корнеходах. Поэтому при поступлении большого количества воды лессовый псевдокарст развивается весьма стремительно.

При изучении лессового псевдокарста невозможно ограничиться рамками одной науки. Рассматривая его как комплексный процесс, приводящий к деградации лессовых массивов, необходимо проводить анализ состояния объекта исследования, обусловленности развития данного процесса, его зависимости от целого набора природных и техногенных факторов. Для этого необходима особая методика, которая позволила бы анализировать лессовый псевдокарст в динамике развития. Данную проблему частично решает коэффициент площадной пораженности [12], характеризующий степень подверженности территории воздействию лессового псевдокарста и определяемый как отношение

площади поверхностных псевдокарстовых форм к площади массива, равной 1 га. Однако эта величина, при всей ее важности, позволяет дать лишь интегральную характеристику поражения. И, что самое важное, она не учитывает скрытые подземные псевдокарстовые полости, иногда, в зависимости от стадии развития, значительно превышающие по размеру поверхностные формы.

В то же время для эрозионных процессов, к которым относится и лессовый псевдокарст, важную информацию несут не только общая площадь поражения и динамика ее изменения, но и форма эрозионных объектов и, самое главное, ее динамика, т.е. изменение во времени.

Цель работы — применение фрактального подхода для анализа лессового псевдокарста в Яванской долине (Таджикистан), определение фрактальной размерности и ее динамики как характеристики степени геологической опасности.

Фракталы и фрактальная размерность

Слово «фрактал» (от латинского fractus или английского fractional — дробный), т.е. то, что состоит из фрагментов, было впервые предложено Бенуа Мандельбротом в 1975 г. В 1977 г. вышла в свет книга Б. Мандельброта «Фрактальная геометрия природы» («The Fractal Geometry of Nature») [14]. В ней дается следующее определение: «*Фракталом* называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому». Б. Мандельброт впервые отметил, что реальные поверхности в природе являются фрактальными объектами [16].

Можно привести многочисленные примеры фракталов в природе. Это лист папоротника, нервная система человека, корни деревьев, прожилки в кленовом листе, береговая линия, овражная сеть и т.д. Отметим, что для большинства природных объектов самоподобие соблюдается, во-первых, статистически, т.е. множества имеют те же свойства, что и любая его часть в среднем (статистически), а во-вторых, лишь в некотором ограниченном диапазоне масштабов.

Теория фракталов — активно развивающаяся область знаний, обладающая мощными инструментами описания сложных самоподобных объектов и процессов [14]. Появление этого подхода дает новое приближение для описания сложных объектов на языке математики, позволяет вводить количественные характеристики для самоподобия, представление о котором на качественном уровне давно вошло в разные области знания, в т.ч. и в науки о Земле.

Одним из основных свойств фракталов, как отмечено выше, является самоподобное копирование его частей, любая из которых есть уменьшенная (или увеличенная) копия всего фрактала (или характеризуемого им объекта). Это свойство имеет определяющее методологическое значение в геоморфологическом анализе и представляет наибольший научный интерес, поскольку

¹ До настоящего времени в рядах исследователей нет единого мнения по поводу термина «лессовый псевдокарст». Краткие аргументы в пользу существования термина «лессовый псевдокарст» приведены в статье [1]

ку касается практических сторон прогноза развития природных объектов.

Фрактальными соотношениями характеризуются речные и овражные сети, карстовые поверхностные формы рельефа [5–7, 15, 20, 22–24, 27 и др.], а также крупные многокилометровые псевдокарстовые овраги — долины первого порядка и последующих более мелких порядков, морфологически подобных главным.

Фракталы — объекты, которые обладают масштабной инвариантностью, или *скейлингом* (когда каждый элемент несет информацию о целом). Такое свойство иерархической организации и самоподобия характерно для многих объектов нелинейной динамики. Важное место в теории фракталов занимает понятие *фрактальной размерности* D , которая является показателем в степенном законе следующего вида:

$$N \sim r^{-D}, \quad (1)$$

где N — минимальное число объектов размера r (шаров, квадратов и т.п.), которыми можно покрыть исследуемое множество.

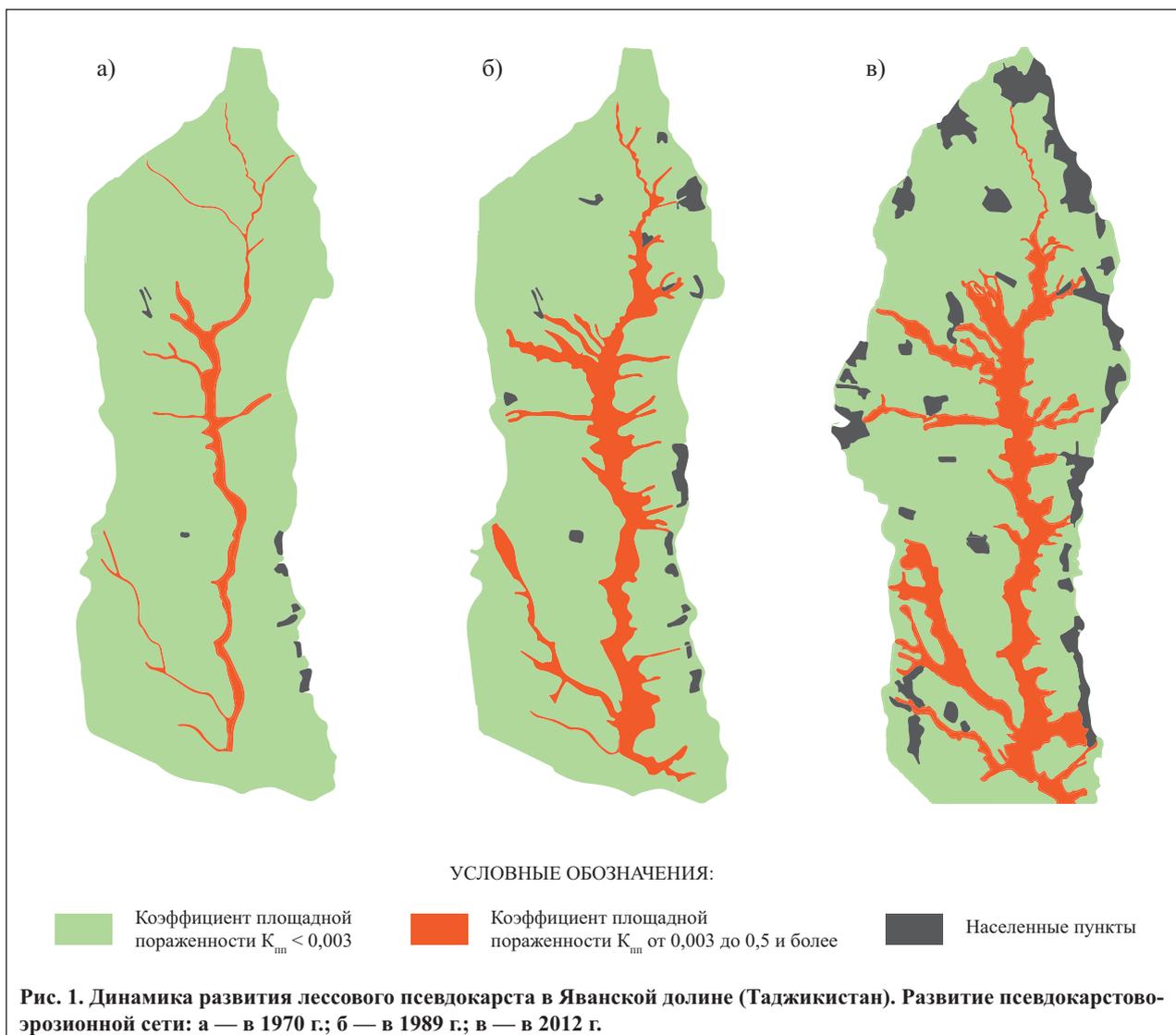
Фрактальная размерность показывает меру самоподобия рассматриваемой иерархической совокупности и степень сложности структуры. Мера подобия оценивается диапазоном масштабов, в котором вы-

полняется однородный степенной закон, а относительная степень сложности определяется величиной фрактальной размерности. Например, у прямой или гладкой линии $D = 1$. Чем более «изломанным» будет фрактал, тем его D будет ближе к 2. Для природных объектов характерна не целочисленная, а дробная размерность.

Фрактальная размерность дает количественную меру для сопоставления объектов или процессов, как правило, имеющих неодинаковое время формирования и/или характеризующихся различными физическими величинами.

Фрактальная геометрия является мощным средством для анализа огромного количества геологических процессов и объектов, характеристики которых описываются степенными законами [1, 13, 26 и др.]. В частности, она позволяет оценить характер самоподобия псевдокарстовых форм и определить их фрактальные свойства. Кроме того, использование теории динамического скейлинга дает возможность не только описать морфологию псевдокарста, но и проследить динамику фрактальных поверхностей.

Фрактальность эрозионных систем — не просто «геометрическое описание», она является следствием механизма их формирования [15]. Геоморфологическая система представляет собой сложную само-





организующуюся динамическую систему, которая согласно законам синергетики перестраивается так, чтобы создавать минимальное сопротивление порождающему ее потоку энергии. Ее развитие и динамика зависят не только от таких свойств, как мощность пород, литологическое строение массива, рельеф и др., но и от внешних воздействий. При поступлении достаточно большого количества воды в трещины и другие указанные выше пустоты лессового массива происходит механический отрыв и вынос частиц в нижние горизонты, что способствует их переотложению с большим уплотнением. Увеличение «пропускной способности» ходов, в которые поступает все большее количество воды, приводит, в свою очередь, к росту сил отрыва и объема выноса частиц лесса, их дальнейшему переотложению и уплотнению, т.е. процесс «усиливает сам себя». Таким образом, процесс нарастания площади взаимодействия воды и лессовой породы становится мультипликативным, развивающимся по закону *положительных обратных свя-*

зей. Он приводит к образованию сложнорасчлененной структуры, имеющей вследствие механизма ее формирования (т.е. «по построению») самоподобную (*фрактальную*) структуру. Конечно, этот процесс разрушения лессового массива не будет продолжаться до бесконечности. В конечном итоге он приведет систему к некоторому динамическому равновесию (на конечной, или заключительной, стадии развития лессового псевдокарста), определяемому балансом поступающей энергии и способности данной системы ее переработать.

Динамика геоморфологической системы в такой модели описывается системой дифференциальных уравнений. Важно отметить, что именно *вследствие фрактального характера псевдокарстового процесса разрушения лессового массива система становится нелинейной*. Площадь поверхности зависит от стадии развития псевдокарста в лессовом массиве (т.е. от времени), причем рост этот носит фрактальный, степенной характер.

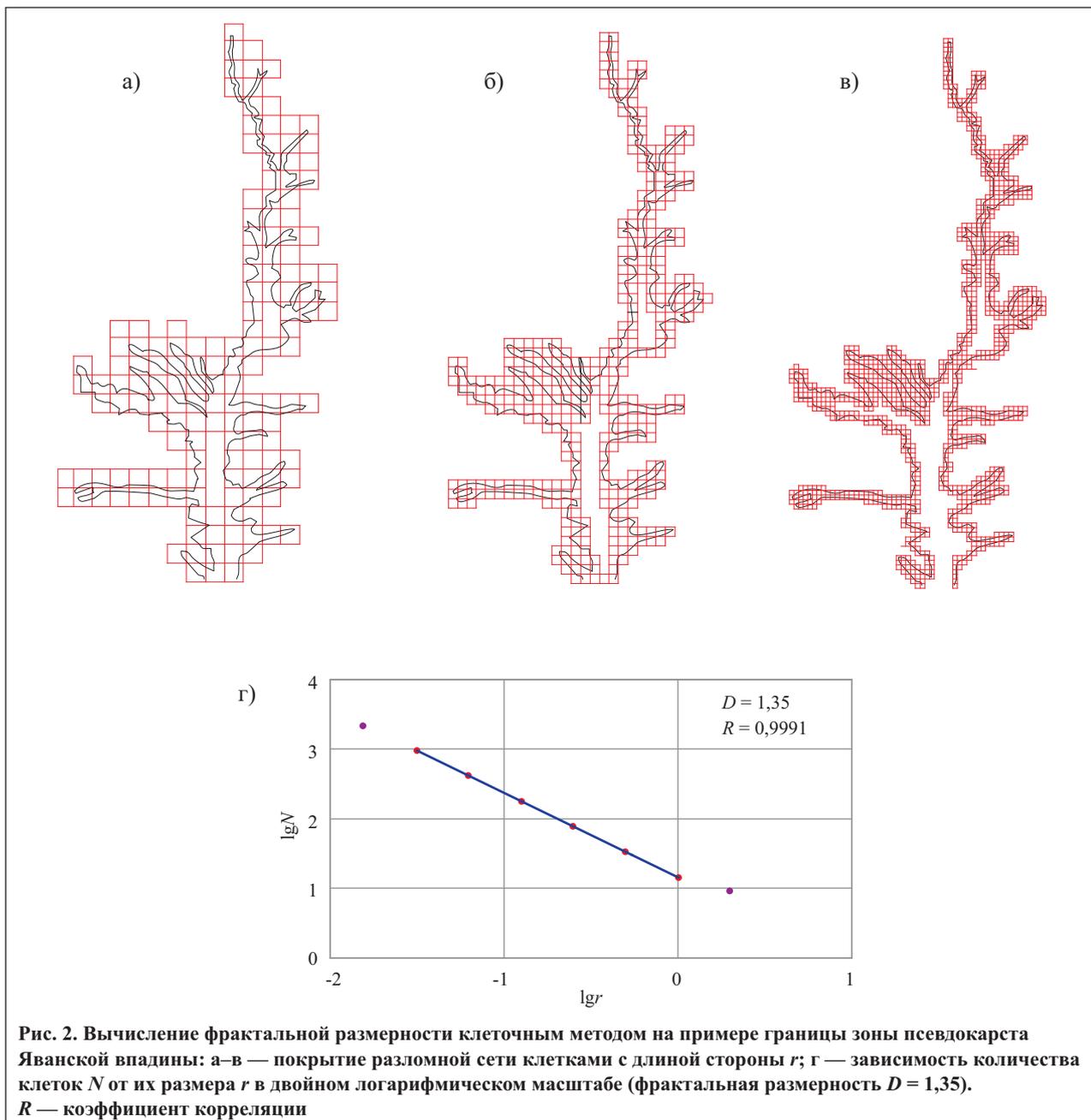


Рис. 2. Вычисление фрактальной размерности клеточным методом на примере границы зоны псевдокарста Яванской впадины: а–в — покрытие разломной сети клетками с длиной стороны r ; г — зависимость количества клеток N от их размера r в двойном логарифмическом масштабе (фрактальная размерность $D = 1,35$). R — коэффициент корреляции

Исходные данные

Развитие псевдокарстовых оврагов в природных условиях продолжается на протяжении сотен лет и распространено в основном в необжитых районах. При техногенезе же крупный псевдокарстовый овраг может развиваться за 2–3 года и нанести значительный ущерб всем отраслям хозяйства, связанным с землепользованием.

Несовершенство оросительных систем приводит к развитию ирригационной эрозии, которая провоцирует развитие псевдокарста. Яванская долина в Таджикистане — типичный пример развития эрозии и псевдокарста в результате техногенеза. Более 7 тыс. га орошаемых земель этой долины (более 25% всех ее орошаемых земель) подвержены процессам оврагообразования.

До освоения Яванской долины и пуска вод реки Вахш для ее орошения в конце 60-х гг. XX в. в ней было выявлено 25 оврагов общей протяженностью 15 км. Через 40 лет после начала освоения этой территории на ней было зафиксировано уже 320 оврагов общей протяженностью 55 км. Большинство из этих оврагов приурочено к концевым частям оросительных сбросов и дрен, что говорит об отсутствии цивилизованного сброса излишков воды до базиса эрозии. Не проводятся элементарные мелиоративные мероприятия. В результате снижается плодородие почв, сокращается площадь сельхозугодий, происходит общее падение продуктивности и урожайности земель. Нередко повышаются уровни грунтовых вод, что приводит к подтоплению территорий и увеличению степени засоленности почв. Ценнейшие орошаемые земли деградируют.

В качестве исходных данных для исследования были взяты карты развития эрозионной сети Яванской долины 1970 г., карта пораженности Яванской долины лессовым псевдокарстом 1989 г. (масштаба 1:25 000) и выкопировка развития псевдокарстово-эрозионной сети Яванской долины 2012 г. с помощью программы Google Earth.

Авторами проводился анализ характеристик самоподобия пораженности Яванской впадины псевдокарстом. Анализировались граница пораженности с коэффициентом площадной пораженности $K_{\text{пл}} \geq 0,003$ и ее динамика (рис. 1).

Методика анализа

Для практического вычисления D часто используют метод подсчета клеток [14]. В этом случае фрактальная размерность носит название клеточной (box dimension). Для ее вычисления исследуемый объект на карте покрывается клетками со стороной, равной r , причем при каждом акте покрытия r изменяется, например, в 2 раза (рис. 2, а–в) и подсчитывается число необходимых для этого клеток N при различных значениях r . Обычно строят график следующей зависимости в двойном логарифмическом масштабе, а затем область скейлинга (т.е. диапазона значений r , для которого зависимость имеет вид (1)), аппроксимируют прямой линией, угловой коэффициент которой является оценкой фрактальной раз-

мерности D (рис. 2, з). Эта линия описывается следующей формулой:

$$\lg N = -D \lg r + c, \quad (2)$$

где c — постоянная (см. рис. 2, з).

Отметим, что приведенная выше процедура оценки фрактальной размерности не является единственной. Существует довольно большое количество других способов [14, 16, 17], которые, основываясь на одних и тех же принципах выявления самоподобия, различаются по методикам и дают для природных объектов несколько различные оценки D . В связи с этим отметим, что сопоставлять между собой можно только размерности, вычисленные с помощью одинаковых процедур.

Фрактальные закономерности геометрии псевдокарстового рельефа обуславливаются свойствами лессов и процессом перемещения продуктов разрушения в поле силы гравитации.

Так как граница псевдокарстового объекта находится на плоской карте в двумерном пространстве и представляет собой сложную кривую, ее размерность лежит между 1 (линия) и 2 (плоскость).

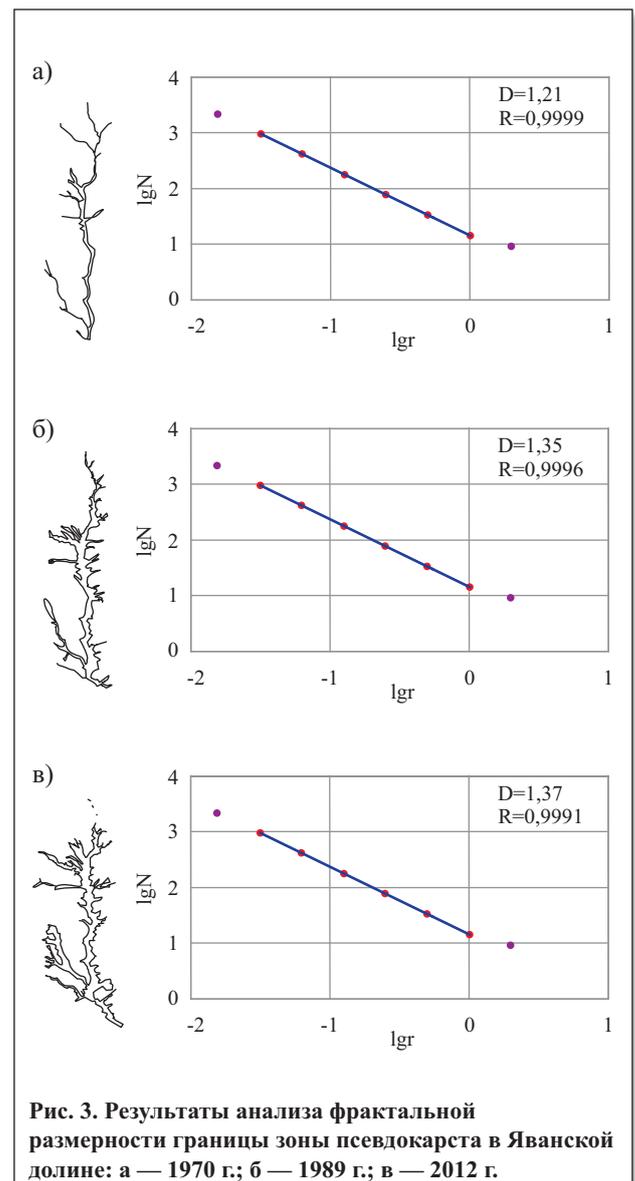


Рис. 3. Результаты анализа фрактальной размерности границы зоны псевдокарста в Яванской долине: а — 1970 г.; б — 1989 г.; в — 2012 г.

Увеличение значений фрактальной размерности характеризует рост степени пораженности местности поверхностными формами псевдокарста и степени опасности. Чем более интенсивно идут эрозионные процессы, тем больше значение D и тем выше степень опасности.

Однако при использовании клеточного метода не учитываются многочисленные подземные формы лесового псевдокарста, не проявившиеся на поверхности. Это необходимо учитывать, вводя соответствующий поправочный коэффициент $F_{\text{подз}}$.

Результаты и их обсуждение

Авторами определялись фрактальная размерность клеточным методом по описанной выше процедуре, а также динамика изменения размерности во времени (в 1970–1989–2012 гг.). При этом использовались программа FractalAnalysis (для анализа растровых изображений) и специализированная авторская программа FrAnGeo (для анализа векторных данных) [4]. При анализе также вычислялись сопутствующие статистические характеристики для подтверждения достоверности получаемых оценок.

Результаты, полученные при использовании вышеуказанных программ, оказались практически идентичными (рис. 3, таблица).

Коэффициент фрактальной размерности D развития лесового псевдокарста на картах Яванской долины 1970 г. (в начале орошения) составил 1,21, в 1989 г. (спустя 16 лет после начала орошения) $D = 1,35$, в 2012 г. $D = 1,37$. Отчетливо видна динамика развития псевдокарстового процесса и возрастание степени геологической опасности по мере увеличения D . Наглядно это демонстрируют карты пораженности Яванской долины псевдокарстом 1970, 1989 и 2012 гг.

Результаты фрактального анализа и их динамика во времени

Год	Программа			
	FrAnGeo		FractalAnalysis	
	D	ΔD^*	D	ΔD^*
1970	1,21	0,01	1,24	0,01
1989	1,35	0,02	1,34	0,01
2012	1,37	0,02	1,38	0,02

* ΔD — стандартная ошибка.

Кроме интегральной оценки фрактальной размерности для исследуемых границ авторами с помощью указанной выше программы FrAnGeo проводилась оценка изменчивости D в пределах каждой кривой с помощью инструмента вычисления значения D в скользящем окне. Ее результаты представлены на рис. 4 в виде изолиний величин фрактальной размерности. Следует отметить, что более корректным было бы отражение значений D непосредственно на участках исследуемых кривых, однако в настоящее время технически удобнее их представление в виде изолиний.

Заключение

Проведенный анализ позволил не только обнаружить общую динамику увеличения интегрального значения фрактальной размерности, но и выявить в пределах исследуемых кривых зоны наибольших и наименьших ее величин. Если на карте пораженности лесовым псевдокарстом 1970 г. максимальные значения D были приурочены к зонам природного развития

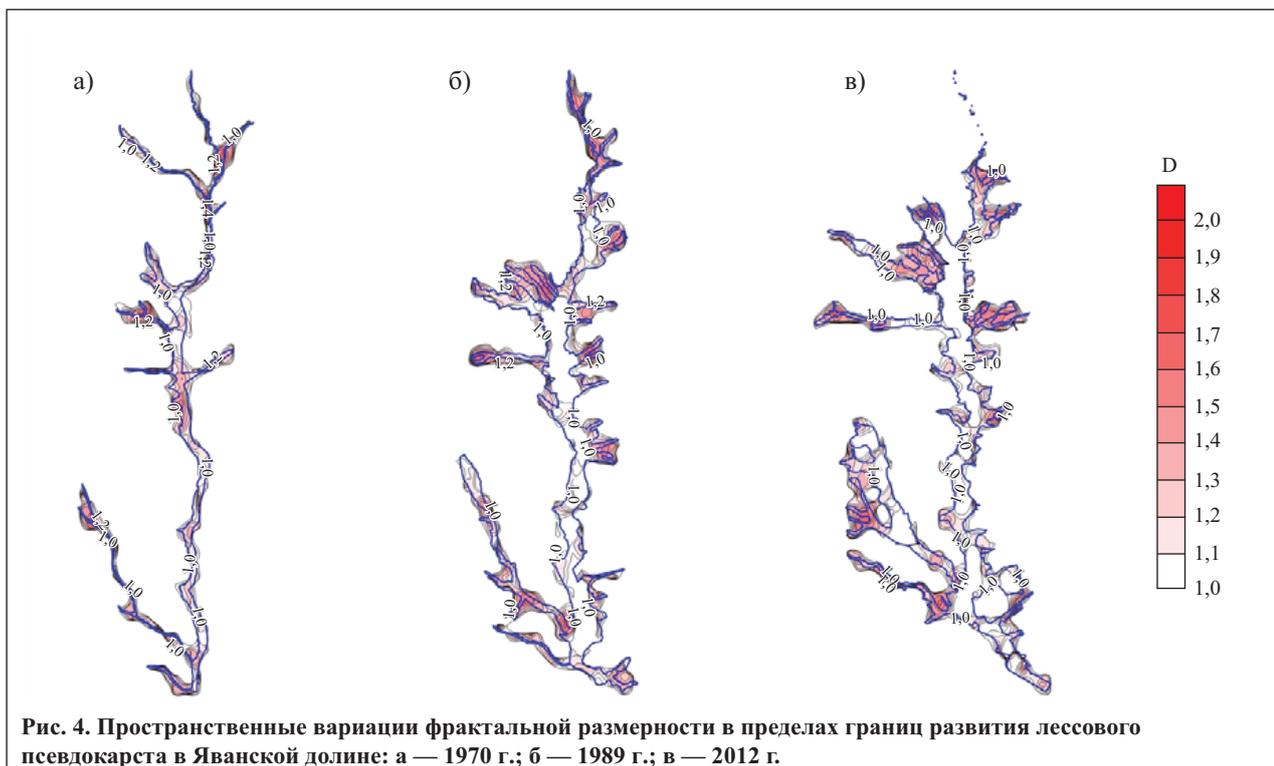


Рис. 4. Пространственные вариации фрактальной размерности в пределах границ развития лесового псевдокарста в Яванской долине: а — 1970 г.; б — 1989 г.; в — 2012 г.

псевдокарстовых оврагов (к средней части течения р. Явансу и локальным зонам в северной и юго-западной частях долины), то после начала активного орошения этой территории и нецивилизованного сброса излишков орошаемых вод произошла полная деградации земель (лессовых массивов) в средней части течения р. Явансу. Пойменная часть этой реки за счет отступления бортов и развития псевдокарстово-эрозионных оврагов (придолинного типа лессового псевдокарста) расширилась местами до 700 м и более.

Карты 1989 и 2012 гг. иллюстрируют, как расширялась зона поражения лессовым псевдокарстом в нижних двух третях Яванской долины (ниже обводного канала). Сильнейшей деградации с формированием псевдокарстового бедленда подвержены крупные массивы в центральной и юго-западной частях долины.

Таким образом, фрактальная размерность может служить мерой интенсивности развития псевдокарстовых процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горяинов П.М., Иванюк Г.Ю. Самоорганизация минеральных систем. Синергетические принципы геологических исследований. М.: ГЕОС, 2001. 312 с.
2. Денисов Н.Я. Строительные свойства лесса. М.: Госстройиздат, 1953. 154 с.
3. Захаров В.С. Анализ характеристик самоподобия сейсмичности и систем активных разломов Евразии // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2011. № 6. С. 10–17.
4. Захаров В.С. Вычисление фрактальных характеристик речных сетей и сейсмичности с помощью программы FRANGEО на примере полярных и приполярных областей Евразии // Научная конференция «Ломоносовские чтения». Секция «Геология». М.: Изд-во МГУ, 2011. URL: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1186049&uri=zaharov.html>.
5. Иванов А.В., Короновский А.А., Минюхин И.М., Яшков И.А. Определение фрактальной размерности овражно-балочной сети города Саратова // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. 2006. Т. 14. № 2. С. 64–74.
6. Копосов Е.В., Иудин Д.И. Мультифрактальный анализ пространственного распределения карстовых явлений // Приволжский научный журнал. 2009. № 1. С. 140–147.
7. Копосов Е.В., Иудин Д.И., Каценко О.В., Каплунов Н.В., Панютин А.А. Фрактальные методы оценки устойчивости развития территорий, подверженных воздействию экзогенных процессов // Приволжский научный журнал. 2009. № 4. С. 134–141.
8. Кригер Н.И. Лесс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986. 133 с.
9. Кригер Н.И., Котельникова Н.Е., Лаврусевич С.И. и др. Закономерности формирования просадочных свойств лессовых пород Средней Азии и Южного Казахстана. М.: Наука, 1981. 132 с.
10. Лаврусевич А.А. Некоторые особенности инженерно-геологических изысканий на территориях, пораженных лессовым псевдокарстом // Инженерные изыскания. 2010. № 10. С. 20–23.
11. Лаврусевич А.А., Крашенинников В.С., Лаврусевич И.А. Лессовый псевдокарст и опыт укрепления лессовых массивов и откосов искусственными посадками растений (на примере Лессового плато в провинциях Ганьсу и Шэньси, Китай) // Инженерная геология. 2012. № 1. С. 44–54.
12. Лаврусевич А.А., Лаврусевич С.А. Опыт оценки активизации псевдокарстовых процессов в лессах (на примере Яванской долины, Таджикистан) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология и геокриология. 2011. № 4. С. 362–369.
13. Лукк А.А., Децеровский А.В., Сидорин А.Я., Сидорин И.А. Вариации геофизических полей как проявление детерминированного хаоса во фрактальной среде. М.: Изд-во ОИФЗ РАН, 1996. 210 с.
14. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. Москва — Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований, 2002. 656 с.
15. Мельник М.А., Поздняков А.В. Автоколебания в эрозионном фрактальном расчленении рельефа // Геоморфология. 2008. № 3. С. 86–95.
16. Федер Е. Фракталы. М.: Мир, 1991. 260 с.
17. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Ижевск: РХД, 2001. 528 с.
18. Dodds P.S., Rothman D.H. Scaling, universality, and geomorphology // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. 2000. V. 28. P. 571–610.
19. Li C., Ma T., Sun L., Li W., Zheng A. Application and verification of a fractal approach to landslide susceptibility mapping // Natural Hazards. 2012. V. 61. P. 169–185.
20. Li Y., Yue Z.Q., Lee C.F., Beighley R.E., Chen X.-Q., Hu K.-H., Cui P. Hack's law of debris-flow basins // International Journal of Sediment Research. 2008. V. 23. № 4. P. 74–87.
21. Malamud B.D., Turcotte D.L. An inverse cascade explanation for the power-law frequency-area statistics of earthquakes, landslides and wildfires: special publication. London: Geological Society, 2006. V. 261. P. 1–9.
22. Pelletier J.D. Self-organization and scaling relationships of evolving river networks // Journal of Geophysical Research. 1999. V. 104. № B4. P. 7359–7375.
23. Shen X.H., Zou L.J., Zhang G.F., Su N., Wu W.Y., Yang S.F. Fractal characteristics of the main channel of Yellow River and its relation to regional tectonic evolution // Geomorphology. 2011. V. 127. P. 64–70.
24. Sidorchuk A. Stages in gully evolution and self-organized criticality // Earth Surface Processes and Landforms. 2006. V. 31. P. 1329–1344.
25. Turcotte D.L. Fractal aspects of geomorphic and stratigraphic processes // GSA Today. 1994. V. 4. № 8. P. 210–213.
26. Turcotte D.L. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Second edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. 398 p.
27. Wang X., Zhong X., Liu S., Li M. A non-linear technique based on fractal method for describing gully-head changes associated with land-use in an arid environment in China // Catena. 2008. V. 72. P. 106–112.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

Адрес редакции:

105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.

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

E-mail: info@geomark.ru

