

Название журнала	ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ				
Издательство	Геомаркетинг				
Год выпуска	2013	Том		Номер выпуска	1



	Название статьи	Страницы	Цит.
	КОЛОНКА М.И. БОГДАНОВА	4-5	0
ИСТОРИЯ, ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ			
	АКАДЕМИК Е.М. СЕРГЕЕВ — СТИЛЬ И ЧЕЛОВЕК Шибаква В.С.	6-14	1
ГРУНТОВЕДЕНИЕ			
	ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАМЫВНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ Огородникова Е.Н., Николаева С.К., Нагорная М.А.	16-26	1
	ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЛЮБАВИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ) Демина Ю.А., Фролова Ю.В., Пискунов В.В., Потрясаев И.И.	28-37	0
ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДИНАМИКА			
	ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ Ревзон А.Л.	38-44	0
	РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЙОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ВЬЕТНАМА Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В.	46-54	1
	К ОЦЕНКЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРСТОВЫХ ФОРМ Щербаков С.В., Катаев В.Н.	56-64	2
	МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «БИАТЛОННЫЙ КОМПЛЕКС» В Г. ХАНТЫ-МАНСЙСКЕ Абатурова И.В., Ковязин И.Г., Тактуев Е.М.	66-72	1
	ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	73	0



УГОЛЬ И ИННОВАЦИИ СКОЛКОВО.

ТРЕБУЕТСЯ КОНКУРЕНЦИЯ ИДЕЙ

COAL AND INNOVATIONS OF SKOLKOVO.

COMPETITION OF IDEAS IS NEEDED

22 декабря 2012 года, на следующий день после давно ожидаемого «конца света», по пути из одного аэропорта в другой, я с интересом читал «РБК daily». Пара статей в газете, написанных на разные темы, как будто переключались между собой, перебрасывая мысли, как волейбольный мячик через сетку от одной команды к другой.

Одна из этих статей была посвящена тому, что российские угольщики предвещают банкротство шахт. Несомненно, впечатляла информация о том, что 74% доходов от экспорта нашего угля идет на возмещение затрат на его транспортировку и портовые услуги, а оставшиеся 24% не покрывают даже производственную себестоимость его добычи (не говоря уже о простом и, тем более, расширенном воспроизводстве). По мере чтения этой статьи и изучения графиков падения продаж на внутреннем рынке в сочетании с графиками, показывающими нерентабельность продаж за границу, в голову поневоле стали приходить мысли о том, куда же движется российская экономика, каковы перспективы развития бизнеса в нашей стране, что нас ждет. Наша страна не может быть сырьевым придатком остального мира, набором месторождений и транспортной инфраструктуры для доставки добытых богатств за границу. Она должна меняться, развиваться и в других направлениях, в том числе забытых нами за последние двадцать с небольшим лет.

Наука и искусство. Это были два направления, где мы всегда добивались достижений в потерянной нами стране. В постсоветское время мы узнали словосочетание «венчурный капитал» и научились понимать, что вложения в науку «у них» дают возврат на инвестиции выше, чем инвестиции в ценные бумаги, которыми торгуют на рынках. Мы читаем в газетах и журналах о том, как умело и эффективно российские миллиардеры, которые нашли удивительные и непостижимые мне пути честного создания многомиллиардных состояний, инвестируют в наукоемкие бизнесы. Преимущественно за рубежом или через иностранные компании. Мы же, граждане страны, в которой наука пытается выжить и делает это (выживает), увы, не очень успешно, думаем о том, куда же идет наше общество...

И тут в поток размышлений легко влились новые, радостные мелодии. Еще одна статья в газете посвящена «Сколково». Центр науки и инноваций, передовой форпост российской науки! Невольно вспоминаются эти несколько сотен гектаров вчерашних полей, аккуратно окруженных забором с изящными завитками колючей проволоки. Очень красиво смотрятся заснеженные завитки колючей проволоки зимой, особенно когда снег на них ярко подсвечивают прожекторы со столбов с камерами наблюдения (понятно, что не для эстетики, а для обеспечения спокойствия на строительной площад-





ке, но нельзя не высказать восхищения красотой этой конструкции в зимнюю пору).

Так вот, возвращаясь к статье в «РБК». Бывший главный управляющий фонда «Сколково» Стивен Гайгер, только что покинувший свой престижный пост, делился в ней мыслями по поводу нашего «локомотива научного прогресса». По его мнению, развитие в «Сколково» пяти основных направлений (в сферах энергетики, информационных технологий, био-, космических и ядерных технологий) не позволит фонду сконцентрироваться. Кроме того, космос и ядерная отрасль относятся к достаточно закрытым и связанным с национальной безопасностью сферам. Одной из важнейших задач С. Гайгер считает гармонизацию интересов государства и менеджеров фонда, которые сегодня никак не заинтересованы в финансовых результатах развиваемых компаний. Мотивированные менеджеры эффективнее справляются со своими задачами. Стивен Гайгер приводит в качестве примера подобную программу, в создании которой он принимал участие в другой стране. Он отмечает огромный объем инвестиций (90 млрд рублей) в Сколково и указывает, что важно сфокусироваться на нематериальных активах — интеллектуальной собственности, наука, креативности, подчеркивая, что ошибкой является создание супергородов, собравших в себе новые архитектурные и технологические «чудеса света» для съемок футуристических сюжетов. Архитектурные чудеса имеют мало общего с развитием инноваций. Hewlett-Packard, Google, Apple, Microsoft, Dell, Facebook — все эти компании были созданы в гараже или студенческом общежитии. Сколько инновационных компаний было создано в построенном для них за миллиарды долларов новом городе? Ни одной.

Кроме того, Стивен Гайгер считает, что если страна действительно собирается строить у себя Кремниевую, а не «Потемкинскую» долину, у нее нет иного выбора, кроме как привлекать больше иностранцев в свои инновационные программы. Он призывает делать это активнее. 50% новых бизнесов в Кремниевой долине создали иммигранты или иностранцы. России необходимо понимать, что ограниченные перспективы дают ограниченные результаты. Они не только не позволяют привлекать иностранных высококвалифицированных специалистов, но и не помогают удерживать российских специалистов в стране.

Читая эти статьи, мне стали приходить в голову грустные мысли о перспективах развития бизнеса в нашей стране. ...недавний звонок руководителя одной из новосибирских компаний — члена СРО НП «Ассоциация Инженерные изыскания в строительстве», когда он, чуть не плача, говорил о том, что государство как будто сражается именно с его фирмой, как будто специально делает все, чтобы не дать ей работать. В связи с этим вспомнился офисный небоскреб на Манхэттене, куда я зашел навестить одноклассника и был сильно удивлен тем, что большая часть увиденных на этаже сотрудников были программистами из России...

Говорим ли мы о добыче угля, подходах к развитию науки или даже отдельным проблемам инженерных изысканий и, в частности, инженерной геологии, один и тот же подход к поиску путей перемен у меня не вызывает сомнений. Необходима конкуренция. Прежде всего, необходима конкуренция идей о том что менять и какой дорогой идти дальше. Без конкуренции идей невозможно развитие общества. Невозможен прогресс. Увы... Без конкуренции идей будет только тихое, теплое, уютное, неподвижное болото. Где даже квакать со временем никто не будет... 🌀



АКАДЕМИК Е.М. СЕРГЕЕВ — СТИЛЬ И ЧЕЛОВЕК

ACADEMICIAN E.M. SERGEEV — A STYLE AND A PERSON

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:

академик Е.М. Сергеев; Научный совет АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии; Международная ассоциация по инженерной геологии и охране окружающей среды (МАИГ).

Key words:

academician E.M. Sergeev; Scientific Council of the AS USSR on Engineering Geology and Hydrogeology; International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG).

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. Эта статья посвящена председателю Научного совета, крупнейшему ученому в мировой инженерной геологии и выдающейся личности — академику Евгению Михайловичу Сергееву (1914–1997).

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 Evgeniy Mikhaylovich Sergeev (1914–1997) who was the chairman of the council, a great scientist in the world engineering geology and outstanding person.

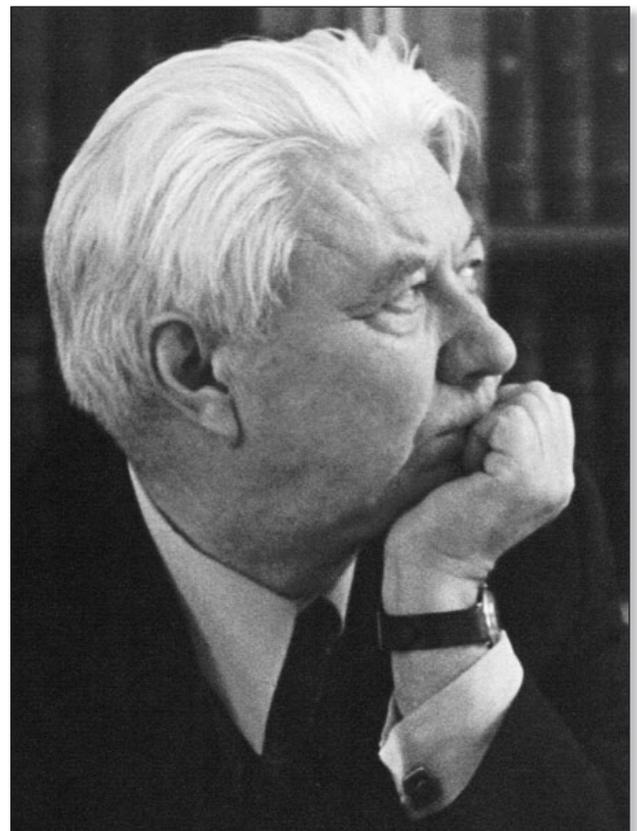


Рис. 1. Академик Евгений Михайлович Сергеев (1914–1997 г.). Фото В.И. Васильева 1979 г.

В 1968 г. председатель Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению Евгений Михайлович Сергеев поручил мне, тогда сотруднице лаборатории технической мелиорации грунтов геологического факультета МГУ, выполнить ответственную работу для совета, т.к. наступило время подготовки к Первому конгрессу Международной ассоциации по инженерной геологии (МАИГ) в Париже в 1970 г., а ученый секретарь совета В.И. Осипов находился на стажировке в США. Это поручение было выполнено: были собраны и опубликованы доклады



Рис. 2. Дискуссии не заканчиваются на заседаниях. Смотровая площадка в г. Тбилиси, 1969 г. Слева направо: Г.С. Золотарев, Ф.П. Котлов, Е.М. Сергеев

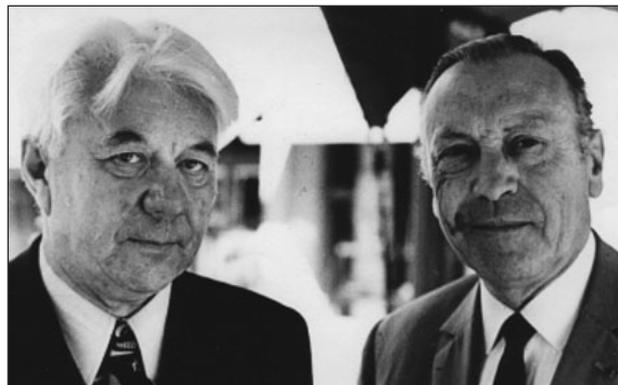


Рис. 3. Е.М. Сергеев и Л. Каламбер (Бельгия) — участник Сопротивления во время Второй мировой войны, узник концентрационного лагеря (г. Москва, симпозиум МАИГ, 1971 г., фото В.И. Васильева)

советских ученых в виде сборника на русском языке, а доклады на английском языке были отправлены в Париж и вошли в труды Первого конгресса МАИГ. Делегация советских ученых успешно выступила на этом форуме.

Позднее я выполняла поручения Е.М. Сергеева, связанные с подготовкой совещания по обсуждению работы вице-президента АН СССР академика А.В. Сидоренко «Человек, техника, Земля», проводимого в МГУ Научным советом. После этого Е.М. Сергеев пригласил меня на постоянную работу в совет на вакантную должность ученого секретаря, т.к. В.И. Осипов перешел на преподавательскую работу в МГУ. И с 1972 по 1992 г. я занимала эту должность, одновременно выполняя работу по линии МАИГ. За эти годы мне довелось принять участие во многих событиях в инженерной геологии, повстречаться со многими замечательными учеными и специалистами как в нашей стране, так и за рубежом, наблюдать за стилем их работы и чертами их характеров. И конечно, есть большое желание сохранить для истории воспоминания об этих людях и событиях.

В предыдущих статьях [1, 7–9] было написано об академике Е.М. Сергееве (1914–1997) как о руководителе Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению (позднее — по инженерной геологии и гидрогеологии), президенте МАИГ, лидере мировой инженерной геологии. Эта статья посвящена личности Евгения Михайловича — замечательного человека, с которым мне посчастливилось работать долгие годы. За эти годы я видела, как он рос по служебному положению: заведующий кафедрой инженерной геологии геологического факультета — декан геологического факультета — проректор по научной и учебной работе — первый проректор МГУ (когда ректор МГУ академик И.Г. Петровский был болен, Е.М. Сергеев выполнял его работу) — ректор Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР. Вместе с тем у Е.М. Сергеева было множество общественных должностей, званий, наград — он был академиком, президентом МАИГ, председателем Научного совета, лауреатом многих премий, почетным доктором ино-

странных университетов... Должности менялись, ответственность увеличивалась, нагрузка возрастала, окружение менялось, а Евгений Михайлович оставался самим собой. Всегда к нему тянулись люди, и он находил время и нужные слова для каждого из них, а также возможность помочь их просьбам. Было очевидно, что его служебный рост, профессиональная карьера не были самоцелью, но давали возможность служить стране и людям. В этом заключалось главное жизненное кредо личности Евгения Михайловича.

Сейчас, 16 лет спустя после кончины Е.М. Сергеева, вопрос о списке многочисленных должностей, которые он занимал, уже не является столь важным, а интерес к его личности сохраняется благодаря уникальным свойствам характера этого замечательного человека. Эти черты характера Евгения Михайловича лично для меня были важны в восприятии его личности и оказывали на меня большое влияние.

Не претендуя на биографическую полноту повествования, я хочу остановиться на тех фактах и особенностях, которые мне представляются наиболее важными в понимании личности Е.М. Сергеева. Он был человеком многосторонним, увлеченным, умевшим глубоко и нестандартно мыслить, принимать в сложных ситуациях единственно правильные решения (качество, выработанное войной). У Евгения Михайловича была замеча-



Рис. 4. Председатель Научного совета Е.М. Сергеев с учеными секретарями — В.И. Осипов сдал дела, В.С. Шibaева их приняла (г. Гетеборг, 1973 г.)



Рис. 5. Е.М. Сергеев и В.С. Шibaева — впереди длинный путь совместной работы в Научном совете и МАИГ (г. Стокгольм, 1973 г., фото В.И. Осипова)

тельная наблюдательность: ему было достаточно одного взгляда, чтобы разом охватить всю картину происходящего. И это неудивительно — ведь во время Великой Отечественной войны он служил в разведке, а позднее был охотником-любителем.

Безусловно, эти черты характера проявлялись и воплощались в работе Е.М. Сергеева. Его полевые исследования как инженера-геолога на обширной территории СССР от Приамурья, Западной Сибири и Средней Азии до Центральной России позволили ему целиком ознакомиться с



Рис. 6. Е.М. Сергеев и М. Лангер (г. Ганновер, 1973 г.)

комплексом проблем воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую геологическую среду и научиться предвидеть возможные изменения и последствия этого влияния. Именно Е.М. Сергеев, и никто другой, первым в истории ЮНЕСКО и МАИГ заявил о необходимости охраны и защиты окружающей геологической среды. Это нашло воплощение в декларации МАИГ, принятой в Париже в 1980 г., первая редакция которой была собственноручно написана Евгением Михайловичем.

Е.М. Сергеев обладал сильным и волевым характером, был безусловно пассионарной личностью, но при этом в нем были доброта и простота, которые открывались собеседнику. Каждый, кто с ним общался, с первой минуты подпадал под обаяние его натуры. Эта уникальность характера Евгения Михайловича создавала неповторимую особенность его личности. Это хорошо чувствовали не только те, кто работал с ним постоянно, но и иностранные ученые, несмотря на непродолжительность общения и языковые барьеры.

Е.М. Сергеев в своих выступлениях умел четко охарактеризовать ситуацию, сформулировать проблему, поставить цель, определить задачи — поэтому людям с ним было интересно работать. У всех было ощущение, что они вместе делают общее дело, а не просто выполняют задания начальника. Все решения Научного совета принимались коллегиально. Благодаря такому характеру организации работ, исходившему лично от Евгения Михайловича, сотрудничество с советом и лично с Е.М. Сергеевым считалось очень престижным. Научный совет непрерывно расширял охват курируемых им научно-технических проблем, количество его членов и структурных подразделений, в которых сотрудничали специалисты самого высокого уровня, постоянно возрастало. Было также большое количество сотрудников, желавших присутствовать на расширенных заседаниях, выездных сессиях и других мероприятиях Научного совета. На его заседания народ собирался как на праздник со всех концов страны. И каждый старался пообщаться с Евгением Михайловичем или просто поприветствовать его.

Е.М. Сергеев всегда был прост, никогда не изображал из себя начальника и умел помочь решить проблему на самом элементарном уровне и даже с отеческой заботой. Это была его личная особенность — «держат свой уровень» и при этом вникать в проблемы людей, не считая это для себя каким-то лишением. Работа с ним создавала ощущение праздника. Когда проходили заседания Научного совета, все их участники чувствовали себя «не последними винтиками во всем мировом механизме». И это не было связано ни с какими политическими идеями, а просто было особенностью атмосферы работы в совете.

Евгений Михайлович любил людей. Помню, когда я возроптала на некоторых председателях проблемных комиссий, что «они должны, но не представили отчеты в назначенный срок», он четко сказал мне: «Валентина Сергеевна, других нам



Рис. 7. Е.М. Сергеев умел слушать ораторов. Выступает член Научного совета П.Ф. Швецов (г. Москва, МГУ, 1974 г., фото В.И. Васильева)



Рис. 8. Срочные вопросы обсуждаются незамедлительно — Е.М. Сергеев и Д.Г. Зилинг (Горный институт, г. Ленинград, 1976 г.)

Бог не дал. Какие есть, с такими и работайте. Никто нам ничего не должен. Мы должны работать». Думается, его деятельность была столь успешной именно потому, что он не искал особых условий, а работал в тех обстоятельствах и с теми людьми, которые имелись, и в конце концов добивался поставленной цели.

В качестве примера хотелось бы привести работу над международной монографией «Инженерная геология Земли» («Engineering Geology of the Earth»), изданной в издательстве «Наука» (г. Москва) в 1989 г. Эта книга МАИГ задумывалась как 8-томная монография, которая должна была охватить все разделы и методы исследований инженерной геологии. Редакторами и авторами отдельных томов были утверждены ведущие ученые мира: М. Арну, М. Лангер, М. Матула, Е.М. Сергеев и другие. Работа над этой монографией была сложной — необходимо было обобщить мировой опыт и представить материал на современном уровне, используя единые понятия и терминологию. Работа началась, но к главному редактору В. Дирману материалы в необходимом количестве не поступали — и проект распался. М. Арну объяснил данную ситуацию так: «Это

был комплексный проект по своей концепции и главным образом по своей реализации. Деликатное равновесие должно было быть сохранено между различными точками зрения и опытом из различных частей мира. Это привело к огромной культурной дисперсии. Короче говоря, это было трудно осуществить» [6]. И только Е.М. Сергееву удалось довести начатую работу до конца, преодолев и «культурную дисперсию», и финансовый кризис, и выпустить свой том в виде автономной книги, которая и сегодня остается одним из главных достижений МАИГ.

Евгений Михайлович был ответственным человеком, неукоснительно выполнявшим взятые на себя обязательства. Это касалось и больших дел, и малых. Он воспитывал чувство ответственности у своих сотрудников и строго с них спрашивал. Когда я не успела подать заявку от Научного совета для составления плана мероприятий АН СССР на предстоящий год, Е.М. Сергеев строго мне выговорил и лишил ежегодной денежной премии со словами: «Больше не забывайте». И я больше никогда не забывала.

Переводчица Научного совета М.С. Корнеева, которая для получения языковой практики подра-



Рис. 9. На смотровой площадке на Ленинских (Воробьевых) Горах — Е.М. Сергеев, В.С. Шibaикова, М. Арну (г. Москва, март 1977 г., фото Е.Н. Коломенского)



Рис. 10. В кулуарах симпозиума МАИГ — Е.М. Сергеев и М. Арну (г. Тбилиси, 1979 г.)



Рис. 11. Президент МАИГ Е.М. Сергеев вручает медаль Ганса Клооса почетному президенту МАИГ М. Арну (г. Париж, 1980 г.)

батывала на проходивших в Москве международных выставках, всегда согласовывала срок своего отсутствия на работе с Евгением Михайловичем и всегда с восхищением мне о нем говорила: «Отец родной — суров, но справедлив». Е.М. Сергеев обладал замечательной чертой характера — умением сочетать в себе высокую требовательность и строгость к подчиненным со справедливостью и умением понять их личные проблемы. Он подбирал кадры, растил их, в трудную минуту помогал им и защищал. Приведу пример. В сентябре 1975 г. состоялась поездка в г. Крефельд (ФРГ) вице-президента МАИГ Е.М. Сергеева и меня как секретаря советской национальной группы. Вечером, накануне отъезда, было сообщено, что нет разрешения директивных органов на мой выезд. Евгений Михайлович встал на мою защиту, поручился за мою благонадежность и взял всю ответственность за эту поездку на себя. Это был серьезный поступок. В дальнейшем благодаря этому я выезжала во многие страны и в ряде случаев являлась личным представителем Е.М. Сергеева на официальных заседаниях МАИГ, когда он лично не мог присутствовать.

Евгений Михайлович умел высказать свое мнение и отстоять свою позицию. Приведу несколько примеров.

В 1964 г. возник вопрос о выводе инженерной геологии из состава преподаваемых в университетах дисциплин как науки прикладного цикла и переводе ее в строительные институты. Е.М. Сергеев смело и решительно встал на защиту инженерной геологии. На собрании коллектива геологического факультета он выступил с горячей речью, которая закончилась словами: «Пока я жив, инженерная геология будет в стенах Московского университета!». Он отстоял свою позицию, и жизнь доказала ее справедливость и жизненность.

В 1983 г. с учетом доводов Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии был приостановлен проект канала «Дунай — Днепр» на Украине.

В 1976 г. Евгений Михайлович был на охоте в Мордовии, где по воле случая попал на кладбище, на котором был похоронен великий российский флотоводец адмирал Федор Федорович Ушаков. Е.М. Сергеев был потрясен и подавлен, когда увидел, в каком заброшенном и плачевном состоянии находилась могила Ушакова. По возвращении в Москву он обратился к главнокомандующему Военно-морским флотом СССР адмиралу С.Г. Горшкову с просьбой привести место захоронения Ф.Ф. Ушакова в порядок. К великой чести главкома это ходатайство было воспринято надлежащим образом — были даны соответствующие распоряжения, проведены необходимые работы и могила знаменитого русского адмирала была приведена в достойное состояние, о чем Е.М. Сергеев был уведомлен. К этому хотелось бы добавить, что в 2004 г. Русская православная церковь канонизировала адмирала Федора Ушакова и причислила его к лику святых. Святые мощи этого праведного воина пребывают в Санаксарском монастыре в Мордовии и почитаются народом.



Рис. 12. Е.М. Сергеев умел четко охарактеризовать ситуацию и поставить проблему. Выездная сессия Научного совета. Слева направо: К.Г. Пшеничников, В.С. Шibaикова, Е.М. Сергеев, Н.В. Роговская, С.Г. Дубейковский (г. Свердловск, 1982 г.)



У Е.М. Сергеева была очень уважительная манера общения с людьми. При этом не имело значения, к кому он обращался — к высокому должностному лицу или к лаборанту. Евгений Михайлович никогда не требовал «сделать так, потому что так надо», а стремился четко объяснить смысл своей просьбы или поручения, заинтересовать собеседника и дать ему возможность самому понять значение и содержание работы. В итоге люди становились единомышленниками Е.М. Сергеева и стремились сделать все от них зависящее, чтобы выполнить его поручение. Я уже писала в одной из предыдущих своих публикаций, как Е.М. Сергеев общался с редактором издательства «Наука», сумел заинтересовать его проблемами инженерной геологии и в результате получил от него «добро» на издание монографии «Инженерная геология Земли». Приведу еще один пример. Ольга Батанова, моя младшая дочь, работавшая тогда техническим сотрудником (лаборантом) в Научном совете, вспоминает, что Е.М. Сергеев поручил ей отвезти рукопись этой монографии в редакцию «Науки» на Профсоюзной улице. Евгений Михайлович не просто вручил ей папку и назвал адрес, по которому следует поехать, а в доступной форме изложил содержание монографии, подчеркнул, какая это важная книга, рассказал, кем и как она создавалась, как важно для всех, чтобы она была опубликована, и особо подчеркнул, что Ольга должна в целостности и сохранности доставить эту рукопись, имеющуюся в единственном экземпляре, в редакцию и передать ее конкретному человеку. Моя дочь осознала всю важность возложенного на нее поручения и поехала выполнять его с таким чувством, что никакие преграды на пути не смогли бы ее задержать.

Евгений Михайлович был доступен для посетителей в приемные часы на кафедре и в ректорате. К нему часто обращались люди по личным и служебным делам. Это были не только сотрудники МГУ, но и приезжие коллеги-ученые из разных городов. По экстренным вопросам Е.М. Сергеев принимал в любое время, несмотря на чрезвычайную загруженность работой. В университете часто можно было увидеть, как к идущему по вестибюлю к лифтам Евгению Михайловичу присоединялся ожидавший его появления сотрудник и на ходу спешил задать свой вопрос и получить ответ. Похожую картину можно было наблюдать и около профессорской столовой, где Е.М. Сергеев ежедневно обедал, и около аудитории, где он читал лекции. Распорядок дня Евгения Михайловича был расписан по минутам, однако у его секретаря А.Л. Николаевской всегда можно было получить информацию, где он сейчас находится, где и в какое время его можно встретить, чтобы получить ответ на свой вопрос. Поэтому наблюдались и такие картины: Евгений Михайлович выходит из аудитории и к нему навстречу сразу же устремляется несколько сотрудников, он ненадолго останавливается, говорит с одним, потом с другим, а в сопровождении треть-



Рис. 13. Работа над книгой МАИГ «Инженерная геология Земли» проходит успешно, настроение Е.М. Сергеева и В.С. Шibaковой радостное (г. Москва, МГУ, 1985 г., фото В. Дирмана)

го направляется к лифтам, ведя беседу на ходу. Память у Е.М. Сергеева была замечательная, он знал всю жизнь университета, поэтому люди мгновенно получали от него ответы.

Особо хочется написать о том, как Евгений Михайлович помогал людям. Я коснусь только житейских, бытовых вопросов, не трогая научно-производственные. В стране при отсутствии рыночных отношений действовала система распределения материальных благ и услуг. В условиях этой системы решение элементарных бытовых вопросов, таких как установка телефона, постановка на очередь в жилищно-строительный кооператив, приобретение путевки в санаторий или дом отдыха, было связано с большими трудностями, приходилось подолгу ждать. Е.М. Сергеев, используя свое влияние в высших кругах, мог значительно ускорить эти процессы, которые в обычных условиях затягивались и не решались годами. Сотрудники кафедры и факультета обращались к нему с просьбами о помощи — и он подписывал письма-ходатайства, звонил в соответствующие инстанции по телефону, обращался туда лично. Десятки людей с благодарностью рассказывали о том, как им помог Е.М. Сергеев в решении их проблем.



Рис. 14. Авторы книги МАИГ «Инженерная геология Земли» (слева направо): Н.С. Красилова, Е.М. Сергеев, В.С. Шibaкова, С.Б. Ершова (г. Москва, МГУ, 1985 г., фото В. Дирмана)



Рис. 15. Авторы книги МАИГ «Инженерная геология Земли» (слева направо): И.М. Буачидзе, В. Дирман, Е.М. Сергеев в кабинете ректора Академии народного хозяйства (г. Москва, 1986 г., фото В.С. Шibaковой)

За годы совместной работы я тоже обращалась к нему с просьбами. Например, Евгений Михайлович помог нашей семье получить квартиру как «очередникам». Мы стояли первыми на очереди ИОФ АН СССР на улучшение жилищных условий, но вопрос наш «не двигался», и я попросила Е.М. Сергеева поехать в Президиум АН СССР к управляющему делами Г.Г. Чахмахчеву, чтобы поддержать нашу просьбу. Когда я, опаздывая на пять минут ко времени встречи, подошла к подъезду Президиума АН СССР, Евгений Михайлович стоял у входа и, улыбнувшись, сказал: «Валентина Сергеевна, Ваш вопрос решен положительно, можете идти получать смотровой ордер».

Е.М. Сергеев также помог моей младшей дочери Ольге Батановой, студентке вечернего отделения исторического факультета, временно работавшей в Научном совете. Я обратилась с просьбой к Евгению Михайловичу помочь устроить Ольгу на работу на исторический факультет, поскольку



Рис. 16. Прием в честь В. Дирмана и И.М. Буачидзе в ресторане гостиницы «Националь». В первом ряду (слева направо): О.Н. Еремина, Е.М. Сергеев, Р. Ангелова, Н.И. Еремин. Во втором ряду (слева направо): В. Дирман, И.М. Буачидзе (г. Москва, 1986 г., фото В.С. Шibaковой)

студенты-вечерники, не работавшие по своей специальности, могли быть отчислены из МГУ. Он ответил, что с деканом этого факультета академиком Юрием Степановичем Кукушкиным у него нет личных контактов, поэтому данную проблему ему трудно решить. Однако спустя некоторое время Е.М. Сергеев сообщил мне, что Ю.С. Кукушкин берет дочь к себе на кафедру лаборантом, и рассказал, как этот вопрос решился. Евгений Михайлович и Юрий Степанович, оба академики, участвовали в голосовании на ежегодном собрании Академии наук. Ю.С. Кукушкин был недавно избран в действительные члены академии, и голосование было для него делом непривычным. Увидев рядом с собой Е.М. Сергеева, он обратился к нему за помощью. Евгений Михайлович ответил: «Конечно, Юрий Степанович, я Вам помогу, и Вы мне помогите». Проголосовали, затем Е.М. Сергеев изложил свою просьбу, дал блестящую характеристику О. Батановой как своей сотруднице, после чего Ю.С. Кукушкин сказал, что он возьмет ее лаборантом к себе на кафедру (Ольга окончила исторический факультет МГУ в 1989 г. с красным дипломом).

Много было и других случаев помощи Е.М. Сергеева своим коллегам. Например, он посещал лежавшего в больнице с тяжелым заболеванием сотрудника своей кафедры В.М. Федорова, чтобы морально его поддержать, беседовал с его лечащим врачом (В.М. Федоров перенес тяжелейшую операцию, выздоровел и потом плодотворно работал на кафедре еще 25 лет). Евгений Михайлович в течение 18 лет оказывал поддержку ослепшей вдове покойного профессора своей кафедры С.С. Морозова, помогал получать квартиры ветеранам войны — всего не перечислишь!

В жизни Е.М. Сергеева большое место занимала международная работа, которая предоставляла ему сферу деятельности, соизмеримую с его личными качествами и общественными возможностями. Эта деятельность проходила по линиям Международной ассоциации по инженерной геологии, Международной ассоциации университетов и Общества культурных связей «СССР — Иран». Работа в МАИГ была самой продолжительной — более 25 лет — и всегда вызывала у Евгения Михайловича живой интерес. Эта ассоциация была тем местом, где его энергия и творческие идеи были очень необходимы. Е.М. Сергеев в 1968 г. «ввел» советскую инженерную геологию в МАИГ и впоследствии неуклонно и всемерно содействовал активной роли нашей национальной группы в ассоциации. Организуя научные мероприятия, принимая иностранных ученых у себя дома, выезжая с докладами за рубеж и участвуя в различных заседаниях МАИГ, мы составляли с ассоциацией единое целое, взаимно обогащаясь идеями и опытом. Е.М. Сергеев приобщил многих наших ученых к международному сотрудничеству через работу в комиссиях МАИГ и над международной монографией «Инженерная геология Земли».

Обаянием своей личности Е.М. Сергеев способствовал развитию и укреплению дружествен-



ных человеческих отношений между членами МАИГ. Это происходило, невзирая на политические и идеологические барьеры, разделявшие тогда весь мир на два лагеря — капиталистический и социалистический. Языковые барьеры тоже не стали преградой. М. Арну, Р. Волтерс, М. Лангер, Х. Видал, В. Дирман (бывшие представителями капстран) называли Е.М. Сергеева своим другом. Например, ранее мною была описана совместная поездка президента МАИГ Е.М. Сергеева и генерального секретаря ассоциации Р. Волтерса по территории ФРГ в 1980 г. [6], когда эти два замечательных человека, оба участники и инвалиды Второй мировой войны, преодолев все преграды, воздвигнутые на их жизненных путях историей, дружно работали на благо и процветание инженерной геологии.

Е.М. Сергеев обогатил инженерную геологию своими идеями, сумел довести их до всех членов МАИГ. Он убедительно обращался не только к своим сотрудникам в Москве, но и ко всем членам ассоциации как ее президент. В 1979 г. в своем президентском послании он писал следующее: «Как мелкие речки и притоки, соединяясь вместе, образуют мощную реку, так и непрерывно повторяющееся воздействие на окружающую среду приводит рано или поздно к заметным ее изменениям, благоприятным или опасным. Поэтому наша задача при осуществлении специальных проектов в промышленном, гражданском строительстве, горнодобывающих отраслях и всех других областях воздействия человека на земную кору — это не только гарантия безопасности проектов и эффективности их технических решений, но также в одинаковой мере защита и рациональное использование геологической среды — проблема общемирового значения». Эти слова о необходимости защиты геологической среды, впервые прозвучавшие в ассоциации, посредством «Декларации МАИГ» были распространены по всему миру. Этот пример приведен как одно из свидетельств эффективности работы и личного вклада Е.М. Сергеева в развитие мировой инженерной геологии.

Авторитет Евгения Михайловича среди зарубежных коллег был очень высок. Они его не только уважали, но и искренне любили и всегда радовались встрече с ним. Когда после 1986 г. врачи запретили Е.М. Сергееву летать на самолетах по состоянию здоровья, президенты МАИГ М. Лангер, О. Вайт, Р. Оливейра приезжали в Москву, чтобы встретиться с ним и обсудить проблемы ассоциации. От меня он всегда ожидал получить свежую информацию обо всех новостях МАИГ, когда я возвращалась из зарубежных поездок. Интерес к проблемам ассоциации сохранялся у него все годы.

Е.М. Сергеева не только уважали как признанного лидера — его любили как замечательного человека и всегда радовались встрече с ним. Примером этого может послужить рассказ Г.А. Бухвалова, помощника Евгения Михайловича по ректорату МГУ, который в 1984 г. сопровождал его в



Рис. 17. По окончании церемонии вручения медали Ганса Клооса Е.М. Сергееву президентом МАИГ М. Лангером (г. Москва, МГУ, фото О.Г. Батановой)

поездке в Польшу. Г.А. Бухвалов обратил внимание, что среди встречавших их рейс в аэропорту Варшавы было много представительных и красивых женщин с букетами цветов, и подумал, что их рейсом прилетел какой-то известный артист. Он даже начал искать глазами эту знаменитость. Но, когда они подошли ближе к встречающим, все эти дамы с цветами устремились к ним с радостными приветствиями: «Евгений Михайлович! Евгений Михайлович!». И стало понятно, что «кинозвездой» на этот раз был Е.М. Сергеев.

Почти одновременно с распадом советской страны здоровье Е.М. Сергеева ухудшилось, и он отошел от всех дел. Закончилась и моя работа в Научном совете, но стараниями друзей я еще продолжала выезжать за рубеж и участвовать в мероприятиях МАИГ. Помню, как в сентябре 1994 г. по возвращении из Лиссабона, где проходил Седьмой конгресс МАИГ, в котором я участвовала по приглашению президента ассоциации Р. Оливейры, я пришла домой к Евгению Михайловичу с отчетом и с гостинцами от друзей: М. Арну прислал две бутылки коллекционного вина «Порто», К. Ангелов — коробку португальского печенья. Самочувствие Евгения Михайловича в тот день было хорошим, и мы долго беседовали, а его су-



Рис. 18. Кульминационный момент в деятельности Научного совета — Киевский съезд инженеров-геологов, гидрогеологов, геокриологов с числом участников 1300 человек. Слева направо: В.Т. Трофимов, Е.М. Сергеев, В.С. Шибаква (г. Киев, октябрь 1988 г.)



Рис. 19. Могила адмирала Ф.Ф. Ушакова в Санаксарском монастыре
(http://ru.wikipedia.org/wiki/%D3%F8%E0%EA%EE%E2,%D4%B8%E4%EE%F0_%D4%B8%E4%EE%F0%EE%E2%E8%F7)

пруга Александра Михайловна угощала нас чаем с вкусным пирогом. Е.М. Сергеев расспрашивал, как я выступила с секционным докладом, тема которого была своеобразной: «Идеи и люди — к 30-летней годовщине МАИГ». Он был очень доволен, узнав, что О. Вайт помог мне подготовить демонстрационную графику, отчего мой доклад очень выиграл. Евгений Михайлович расспрашивал о заседании совета МАИГ. Особенно его заинтересовала дискуссия по вопросу переименования ассоциации. Проблемы охраны окружающей среды так мощно вошли в инженерную геологию, что ряд национальных групп предложил изменить название ассоциации как не отвечающее новым требованиям времени. Большинство (как и сам Евгений Михайлович) склонялось к тому, что нельзя полностью отходить от старого названия, т.к. оно указывает на геологические корни ассоциации. Поэтому решение вопроса было отложено: генеральный секретарь МАИГ Л. Примель должен был сначала собрать мнения всех национальных групп, а окончательно этот вопрос должен был быть решен на очередном симпозиуме ассоциации, который вновь избранный президент П. Маринос собирался организовать в Афинах в июне 1997 г.

Евгений Михайлович со скорбью услышал от меня о горе, постигшем семью Р. Оливейры: в июне в автомобильной катастрофе погибла его дочь Аня с двумя сыновьями. Мы очень хорошо запомнили очаровательную Аню, когда за 10 лет до этого она приезжала с отцом в Москву на Международный геологический конгресс. Евгений Михайлович очень переживал и попросил отправить Р. Оливейре телеграмму с соболезнованиями.

В июне 1997 г. я вернулась в Москву из Афин с симпозиума МАИГ. Но рассказать о том, как он прошел, как решались вопросы на заседании совета ассоциации, было уже некому... Евгений Михайлович ушел от нас тихо и мирно рано утром в день своего рождения — 23 марта 1997 г. Его идеи живут и развиваются в ассоциации, название которой не было изменено, а было лишь дополнено словом «environment». В русском варианте она теперь называется Международной ассоциацией по инженерной геологии и охране окружающей среды, за что ратовал в т.ч. и Е.М. Сергеев. При этом аббревиатура ассоциации МАИГ (IAEG) остается неизменной и по сей день.

В заключение хотелось бы еще раз отметить, что Е.М. Сергеев, несмотря на свою большую научную, педагогическую, научно-организационную и международную деятельность, видел и человеческие, житейские проблемы людей. У него все было на своем месте — учебные, научные, организационные, международные, бытовые и житейские проблемы занимали подобающие им «позиции». Чтобы все это охватывать, все держать в своей памяти, требовалась широкая натура — и Евгений Михайлович Сергеев ею обладал. Он принадлежит к категории тех благородных людей, имена которых человечество выносит на страницы своей истории как лучшее ее украшение. 🌟

Автор выражает благодарность О.Г. Батановой и В.И. Барановой за обсуждение материалов и предоставление воспоминаний, которые были использованы при написании статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шибакова В.С. О деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и грунтоведению // Инженерная геология. 2009. № 3. С. 8–13.
2. Шибакова В.С. О деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии (1980–1985) // Инженерная геология. 2010. № 1. С. 8–16.
3. Шибакова В.С. О деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии (1986–1991) // Инженерная геология. 2010. № 3. С. 8–15.
4. Шибакова В.С. Из истории деятельности Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии: связи внутри страны и за рубежом // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 8–19.
5. Вопросы инженерной геологии // Доклады советских ученых к Первому конгрессу МАИГ / отв. ред. П.Н. Панюков. М.: ВИНТИ, 1970. С. 260.
6. Шибакова В.С. Доктор Ричард Волтерс (01.05.1921–07.03.1981): к 90-летию со дня рождения // Инженерная геология. 2011. № 2. С. 8–14.
7. Arnould M. Foreword / Engineering Geology of the Earth (ed. by W. Dearman, E.M. Sergeev, V.S. Shibakova). Moscow: Nauka, 1989. P. 3.
8. Sergeev E.M. The President's address // Newsletter IAEG. 1979. V. 7. P. 1.
9. Shibakova V.S. The ideas and people — to the 30th anniversary of the IAEG // Proceedings of the 7th International IAEG Congress, 5–9 September 1994, Lisbon, Portugal. Rotterdam, The Netherlands: Balkema, 1994. P. 4863–4868.



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАМЫВНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

ENGINEERING-GEOLOGICAL FEATURES OF MAN-MADE ALLUVIAL GROUNDS

ОГОРОДНИКОВА Е.Н.

Доцент экологического факультета Российского университета дружбы народов, к.г.-м.н., г. Москва, ogorodnikova50@mail.ru

НИКОЛАЕВА С.К.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва, sk.niko@geol.msu.ru

НАГОРНАЯ М.А.

Ведущий специалист ЗАО «Раменский региональный экологический центр», к.г.-м.н., г. Раменское Московской обл., vik-mari@yandex.ru

OGORODNIKOVA E.N.

An associate professor of the ecology faculty of Peoples' Friendship University of Russia, candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow, ogorodnikova50@mail.ru

NIKOLAEVA S.K.

An associate professor of the engineering and ecological geology department of the geology faculty of Lomonosov Moscow State University, candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow, sk.niko@geol.msu.ru

NAGORNAYA M.A.

A lead specialist of the «Ramenskiy Regional Environmental Center» CJSC, candidate of science (Geology and Mineralogy), Ramenskoye, Moscow Region, vik-mari@yandex.ru

Ключевые слова:

техногенные намывные грунты; хвостохранилище; минеральный состав; дисперсность; свойства.

Key words:

man-made alluvial grounds; tailing dump; mineral composition; dispersion, properties.

Аннотация

В статье рассмотрены инженерно-геологические особенности массивов намывных техногенных грунтов. Показано, что состав и строение намывных грунтов Лебединского горно-обогатительного комбината, определяют их водно-физические и физико-механические свойства.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с тематикой международного проекта РФФИ «Теоретические и методологические основы изучения техногенных грунтов и управление их свойствами» авторами проводились исследования по намывным техногенным грунтам (НГ) и их массивам, при которых рассматривались вопросы их систематизации и инженерно-геологических особенностей. Основанием для написания данной статьи послужили классификация НГ, которая расширяет и уточняет существующие представления об общей классификации техногенных отложений, и оригинальные исследования намывных грунтов Лебединского горно-обогатительного комбината (ГОК). Межгосударственный стандарт ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» [4] не содержит в своей номенклатуре конкретные виды и подвиды техногенных грунтов, которые в общей классификации техногенных грунтов А.П. Афолина и др. [1] относятся к намывным и входят в классы техногенно переотложенных и образованных разностей. Эти отложения мало изучены, являются термодинамически неустойчивыми и требуют присталь-

Abstract

The article considers engineering-geological features of man-made alluvial ground massives. The composition and structure features of the man-made grounds of the Lebedinskiy ore-dressing and processing enterprise that determine their water-physical and physical-mechanical properties are shown.



Таблица 1

Систематизация массивов намывных техногенных грунтов	
Отрасль промышленности, источник формирования техногенных грунтов	Типы массивов техногенных грунтов
Добыча и обогащение полезных ископаемых	Массивы гидроотвалов
	Массивы хвостов обогатительных фабрик
Переработка полезных ископаемых	Массивы шламов
Энергетика	Массивы золошлакоотвалов
Строительство (планомерный намыв грунтов)	Массивы грунтов земляных сооружений
	Массивы грунтов намывных территорий

ного инженерно-геологического и инженерно-экологического внимания.

Цель настоящей публикации — систематизировать массивы намывных грунтов и на одном из примеров, а именно на хвостах Лебединского горно-обогатительного комбината, показать специфику свойств НГ, мало изученных в инженерной геологии. При этом были поставлены следующие задачи: (1) дать общую характеристику намывных грунтов и массивов, провести систематизацию последних по отраслям промышленности, являющимся источниками формирования техногенных отложений; (2) описать основные инженерно-геологические особенности разных типов НГ; (3) показать взаимосвязи состава, строения и свойств одного из типов намывных грунтов — хвостов обогащения железных руд.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАМЫВНЫХ ГРУНТОВ И МАССИВОВ

Под намывными грунтами понимают любые дисперсные горные породы или твердые отходы производственной и хозяйственной деятельности человека, уложенные способами гидромеханизации [6]. Укладка приводит к образованию массива НГ, который является частью созданной природно-технической системы.

Для массивов намывных грунтов характерно фракционирование по длине пляжа намыва, слоистое строение, анизотропия фильтрационных и физико-механических свойств, уплотнение и упрочнение, изменение степени фильтрационной анизотропии во времени. Они характеризуются рядом специфических инженерно-геологических особенностей, которые отличают их от природных разностей, и образуют техногенный рельеф.

По составу и строению намывные грунты, формирующие техногенный массив, отличаются от природных разностей. В НГ присутствуют отдельные минералы или их сочетания, которые отсутствуют в природных минералогических ассоциациях. Намытые массивы содержат техногенные водоносные горизонты, представленные грунтовыми водами. В их составе часто встречаются загрязняющие компоненты. Для массивов намывных грунтов характерны процессы, обусловленные как литогенетическими преобразо-

ваниями их состава и свойств, что соответствует природным процессам прогрессивного и регрессивного литогенеза, так и экзогенными процессами — суффозией, оползнеобразованием, дефляцией и др.

В таблице 1 приведена систематизация массивов намывных техногенных грунтов по отраслям промышленности.

МАССИВЫ ГИДРООТВАЛОВ

Добыча полезных ископаемых методами гидромеханизации и их последующее обогащение приводят к формированию массивов намывных техногенных грунтов, состав и свойства которых отличаются от природных разностей. В качестве примера формирования таких отложений приведем гидроотвалы горного производства Кузбасса [3].

На угольных месторождениях Кузбасса гидравлической разработке подвергаются четвертичные отложения главным образом пылевато-глинистого состава — пылеватые суглинки, лессовидные суглинки, реже пылеватые глины, иловатые суглинки, легкие супеси [3]. В таблице 2 приводятся значения показателей состава и физико-механических свойств природных и намывных грунтов такого рода.

В процессе гидроотвалообразования по мере удаления от фронта намыва происходит дифференциация пульпы по фракциям. При этом крупные песчаные частицы концентрируются в районе выпуска пульпы, формируя наружную приоткосную зону. Более мелкие частицы, преимущественно тонкопесчаные и пылеватые, относятся потоком несколько дальше и образуют промежуточную зону. И, наконец, тонкие глинистые частицы осаждаются в прудке-отстойнике. Изменения дисперсности в разных зонах намыва определяют различия в строении и физико-механических свойствах таких техногенных грунтов в пределах сформированного массива.

МАССИВЫ ХВОСТОВ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Хвосты образуются в результате обогащения полезных ископаемых при отделении пустой породы методами гравитации, магнитной сепарации

Таблица 2

Состав и свойства природных и намывных грунтов гидроотвала «Свободный» (Кузбассе) [2]											
Тип грунта		Содержание фракций, %, с размером частиц, мм			Плотность твердых частиц, г/см ³	Влажность, %	Плотность грунта, г/см ³	Плотность скелета грунта, г/см ³	Пористость, %	Удельное сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , °
		> 0,05	0,05–0,001	< 0,001							
Природные разности*	1	17	65	18	2,68	23,3	1,94	1,57	41,4	0,460	21,3
	2	10	74	16	2,70	26	1,94	1,57	41,4	0,044	20,0
	3	9	75	16	2,62	35,5	1,80	1,33	49,2	0,450	18,2
	4	15	60	25	2,68	22,0	1,96	1,61	39,9	0,380	21,0
Приоткосная зона		32	60	8	2,67	21,0	1,85	1,53	42,7	0	19,0
Промежуточная зона		5	79	16	2,70	29,0	1,88	1,45	44,3	0,020	15,0
Прудковая зона		2	72	26	2,72	33,0	1,90	1,43	48,2	0,035	11,0

* 1 — суглинок пылеватый макропористый, ожелезненный, с гравием и галькой мощностью до 25 м; 2 — суглинок лессовидный макропористый, с дресвой и щебнем мощностью до 20–23 м; 3 — суглинок иловатый туго-текучепластичный, с редкими включениями дресвы, гравия, гальки мощностью 2–4 м; 4 — глина пылеватая туго- и мягкопластичная мощностью 2–5 м.

или флотации и складываются на хвостохранилищах гидротранспортом. Следует заметить, что процесс флотации связан с введением поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Примером может служить обогащение железных руд — железистых кварцитов, которые дробят, измельчают, превращают в дисперсный материал, а затем методом магнитной сепарации извлекают из них полезный продукт. Пустая порода, представленная остроугольными обломками кварцита и отдельных кристаллов, в виде пульпы транспортируется в хвостохранилище.

МАССИВЫ ШЛАМОВ

Шламы — продукты обогащения и переработки полезных ископаемых на стадии получения готовой продукции [3, 6]. К шламам гидроудаления можно отнести:

- угольные (побочные продукты обогащения угля);
- нефелиновые (отходы производства алюминия);
- красные (побочные продукты переработки и обжига бокситов);



Рис. 1. Последствия разлива красного шлама (город Айка, Венгрия)



Рис. 2. Пульпопровод Назаровской ГРЭС. Золоотвал пойменного типа, расположенный в пойме реки Чулым

- карбонатные (отходы переработки серных руд);
- нефтяные (побочные продукты добычи и переработки нефти).

В качестве примера рассмотрим *красный шлам* — побочный продукт переработки и обжига бокситов при производстве алюминия, который удаляется гидротранспортом и содержит около 70% частиц размером 1–5 мм при плотности отложений в шламонакопителе 1,2 г/см³. По химическому составу он включает: оксид кальция (37%), оксид железа (21%), оксид кремния (18%), оксид алюминия (8%). На каждую тонну полученного оксида алюминия приходится от 360 до 800 кг шлама. Вследствие значительного содержания оксида кальция красный шлам характеризуется вяжущими свойствами, поэтому

при длительном хранении в шламонакопителе наблюдается некоторая его цементация на участках, где откладываются мелкие фракции.

На рисунке 1 показаны последствия разлива примерно 1 млн м³ красного шлама в венгерском городе Айка 4 октября 2010 г. — в результате прорыва плотины шламохранилища на крупном заводе.

МАССИВЫ ЗОЛОШЛАКООТВАЛОВ

Золошлаки и золы — продукты сжигания твердого топлива: каменного и бурого угля, торфа или горючих сланцев на теплоэлектростанциях. Они транспортируются по пульпопроводам (в условиях гидроудаления) на золоотвал при concentra-



Рис. 3. Сброс пульпы в золошлакоотвал



Рис. 4. Слоистость в золоотвале



Рис. 5. Создание намывных площадей в г. Санкт-Петербурге. Аэрофотоснимок



Рис. 6. Сброс пульпы в хвостохранилище Лебединского горно-обогатительного комбината

ции пульпы 50–60% (рис. 2, 3). В результате формируется массив техногенного грунта — золошлакоотвал, состав и свойства грунтов в котором неоднородны по глубине и простиранию.

На рисунке 4 в техногенных грунтах золоотвала по изменениям их цвета и дисперсности видна слоистость, которая приводит к анизотропии свойств этих грунтов.

Все рассмотренные выше массивы сложены намывными грунтами, которые относятся к техногенно образованным разностям. Они характеризуются следующими особенностями:

- состав таких отложений отличается от состава природных разностей, что зависит не только от условий их образования, но и от тех гипергенных изменений, которые в них происходят;
- в массивах этих грунтов наблюдается неоднородность как по простиранию, так и по глубине;
- неоднородность состава определяет изменчивость свойств данных отложений.

Основные задачи исследований таких грунтов касаются путей их обезвреживания, консолидации и влияния на природные условия окружающих территорий.

МАССИВЫ ГРУНТОВ НАМЫВНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Массивы планомерно намытых техногенных грунтов образуются при возведении намывных сооружений или территорий из природных грунтовых материалов.

Особого внимания заслуживают намывные территории. Цели их создания состоят в увеличении площадей селитебных территорий или расширении городской застройки за счет подъема абсолютных отметок. В результате формируется техногенный рельеф.

Например, в строящемся порту в г. Санкт-Петербурге завершились работы по формированию (обвалованию) периметра для намыва второй очереди морского терминала. В июле 2011 г. была сформирована дамба протяженностью около 1 км и устроено временное берегоукрепление на ее внешней стороне. Внутри обвалованной территории будет осуществляться намыв искусственного массива на природное грунтовое основание песчаным грунтом, добытым в ходе

днуоуглубительных работ на акватории нового порта и в подходных каналах к нему. Общий объем намыва составит 2 млн м³, площадь образованной территории будет составлять около 85 га (рис. 5).

Основные требования, предъявляемые к массивам грунтов намытых территорий:

- наличие необходимой несущей способности;
- отсутствие неравномерных осадок;
- отсутствие подтопления;
- отсутствие опасных инженерно-геологических процессов (суффозионных, провальных и др.).

НАМЫВНЫЕ ГРУНТЫ (ХВОСТЫ) ЛЕБЕДИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Кратко охарактеризовав инженерно-геологические особенности различных типов намывных техногенных грунтов и их массивов, остановимся на особенностях состава и свойств таких разностей, как хвосты Лебединского горно-обогатительного комбината (ГОК) (рис. 6).

На территории хвостохранилища Лебединского ГОК были отобраны пробы техногенного грунта по двум профилям. Главный профиль длиной 90 м был расположен вдоль основного движения пульпы при намыве (от зоны сброса в сторону пруда-отстойника). Его длина определялась возможностью отбора проб с поверхности намытых отложений без привлечения специальной техники. Дополнительный профиль, имевший длину 50 м (равную среднему расстоянию между выпусками пульпопроводов), перпендикулярно пересекал главный в месте выпуска пульпы. Отбор образцов в естественном сложении проводился с глубины 3–4 см, а в нарушенном сложении — с глубины 15–20 см.

Приведенные в статье показатели соответствуют свойствам образцов, отобранных:

- в зоне сброса пульпы (M17, M19, M110);
- по главному профилю вдоль фронта намыва (M15-M11);
- в центральной части хвостохранилища (M10);
- по поперечному профилю (M21-M32).

Исследование состава и свойств намывных грунтов проводилось по стандартным методикам [5].

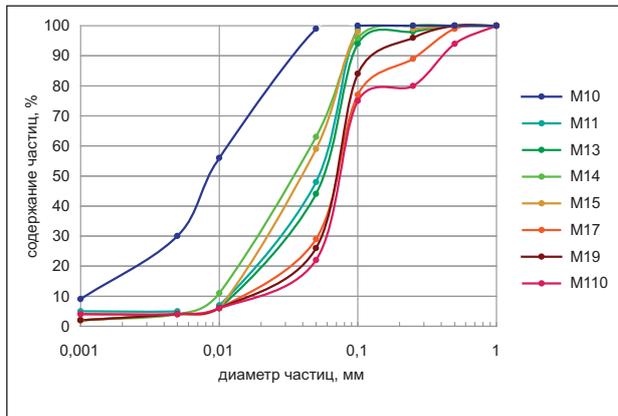


Рис. 7. Интегральные кривые гранулометрического состава проб хвостов пылеватых, отобранных по главному профилю. Пробы взяты из зоны сброса пульпы (M17, M19, M110), промежуточной зоны (M15–M11) и зоны пруда-отстойника (M10)

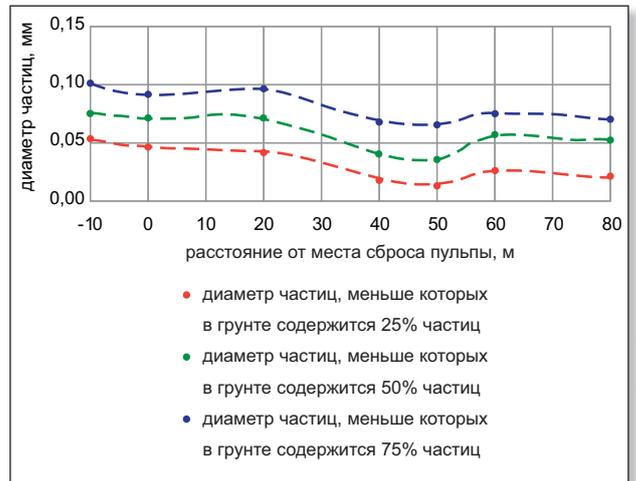


Рис. 8. Распределение частиц по направлению намыва

Состав и строение грунтов

Результаты гранулометрического анализа подтверждают, что на фоне общей закономерности фракционирования намывного материала (уменьшения его крупности по мере удаления от места выпуска пульпы) существуют более мелкие колебания дисперсности, связанные с локальными факторами. Интересно, что по направлению намыва в пределах главного профиля содержание фракций глины и мелкой пыли (с размером частиц менее 0,01 мм), неустойчивых к ветровой дефляции, практически не меняется и составляет 6–14%. Во всех исследованных образцах, являющихся хвостами пылеватыми (по существующей классификации хвостов обогащения [1]), преобладают фракции тонкого песка (22–58%) и крупной пыли (16–66%). Тем не менее на графиках гранулометрического состава грунтов главного профиля (рис. 7) по дисперсности четко выделяются зона сброса (M17, M19, M110) и промежуточная зона (M11, M13, M14, M15). Отдельно расположена кривая, соответствующая образцу-аналогу из зоны пруда-отстойника (M10).

На графике распределения диаметров частиц, соответствующих 25, 50 и 75% их содержания, на фоне мелких колебаний хорошо видна общая тенденция к увеличению дисперсности при удалении от места выпуска пульпы (рис. 8). В зоне ее сброса

эта закономерность также наглядно прослеживается по обе стороны от места выпуска.

Как видно из приведенных на рис. 7 данных, характерные для природных грунтов соотношения содержаний отдельных фракций в хвостах обогащения железных руд нарушены. При определении названий этих техногенных грунтов главная сложность заключается в низком содержании песчаных фракций в зонах сброса и промежуточной (22–78%, в среднем 50%). Поэтому общепринятые классификации отложений по гранулометрическому составу (включая ГОСТ 25100-2011) для них не подходят: исследуемые хвосты не являются песками и не могут классифицироваться как глинистые грунты, поскольку не проявляют свойств пластичности. По классификации хвостов обогащения, разработанной институтом «ВИОГЕМ», все исследуемые грунты являются хвостами пылеватыми [2].

Для образцов тонко- и грубодисперсных разновидностей намывных грунтов (M10 и M19 соответственно) был выполнен валовый химический анализ, результаты которого представлены в табл. 3. Полученные показатели соответствуют средним данным, характерным для хвостов черной металлургии [6]. В составе этих разновидностей преобладает SiO₂, в заметном количестве содержится Fe₂O₃, FeO, CaO, MgO, Al₂O₃. Интересно, что в тонкодисперсном образце (M10) содержание Al₂O₃ и FeO наряду с P₂O₅, CaO, MgO и другими элементами выше, чем в грубодисперсной

Таблица 3

Химический состав намывных грунтов хвостохранилища Лебединского ГОК										
Зона фракционирования	Название грунта	Содержание компонентов, %								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	TiO ₂	CaO	MgO	п.п.п.*
Зона сброса пульпы	Хвосты пылеватые (M10)	69,53	2,11	6,39	9,37	0,18	0,20	2,71	4,63	3,28
Зона пруда-отстойника	Хвосты пылеватые (M19)	62,41	2,75	8,55	5,98	0,43	0,22	3,92	7,65	4,94

* п.п.п. — потери при прокаливании.

Таблица 4

Минеральный состав намывных грунтов хвостохранилища Лебединского ГОК (содержание, %)								
Зона фракционирования	Название грунта	Кварц	Альбит	Доломит	Железосодержащие минералы			
					Mg,Fe-амфиболы	биотит	магнетит	сидерит
Зона сброса пульпы	Хвосты пылеватые (M10)	54	3	5	31	3	2	1
Зона пруда-отстойника	Хвосты пылеватые (M19)	35	4	5	23	9	<1	<1

Таблица 5

Результаты количественного анализа микроструктуры намывного грунта из зоны сброса пульпы				
Ориентировка образца по отношению к направлению намыва	Средний диаметр пор, мкм	Средняя площадь пор, мкм ²	Средний периметр пор, мкм	Удельная поверхность грунта, мкм ⁻¹
Перпендикулярно	0,49	2,78	4,64	0,34
Параллельно	0,57	2,96	4,26	0,48

пробе (M19). При этом с увеличением дисперсности содержание SiO_2 уменьшается незначительно.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что содержание основных породообразующих минералов в составе намывного грунта различается для тонкодисперсной и грубодисперсной разностей (табл. 4): в тонкодисперсных образцах (M10) содержание кварца и Mg-Fe-амфиболов ниже (составляет 35 и 23% в M10 и M19 соответственно). Суммарное содержание «легковесных» и железосодержащих минералов больше в грубодисперсной пробе. Однако в образце M10 появляются тальк, нонтронит, хлорит, каолинит, вермикулит, суммарное содержание которых равно 22%. Пирит в количестве 1% обнаружен только в пробе M19, а гематит (2%) — в M10.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об изменении минерального состава в соответствии с дисперсностью намывных грунтов.

В составе водной вытяжки концентрации гидрокарбонат- и сульфат-ионов невысоки и сопоставимы между собой для разных образцов. Содержание ионов хлора более значительно и, по-видимому, возрастает по мере удаления от зоны сброса. Для образца промежуточной зоны концентрации натрия и калия преобладают над таковыми кальция и магния, а для пробы, характеризующей участок пруда-отстойника, — наоборот. Суммарное содержание солей в пылевато-глинистых разностях составляет 0,26%, что позволяет отнести их к незасоленным.

Для техногенных отложений в массиве характерна резкая смена песчаных разностей более тонкодисперсными, без постепенных переходов. Крупнозернистые фракции хвостов обогащения содержат отдельные частицы пустой породы и агрегаты, состоящие из мелких зерен железосо-



Рис. 9. Изменения по глубине слоистости намывных грунтов — хвостов обогащения Лебединского ГОК (фото Е.А. Лычагина)

Таблица 6

Параметры физических свойств намывных грунтов — пылеватых хвостов*											
Зона фракционирования	№ образца	W, %	ρ , г/см ³	ρ_d , г/см ³	ρ_s , г/см ³	n, %	e_{\min}	e_{\max}	$e_{\text{ест}}$	I_d	F
Зона сброса пульпы	M17	27	1,95	1,54	2,93	48	0,97	0,60	0,91	0,16	0,38
	M19	27	2,04	1,61	3,02	47	1,14	0,75	0,88	0,67	0,34
Промежуточная зона	M13	28	1,97	1,54	2,94	48	1,23	0,77	0,91	0,70	0,37
	M15	28	2,01	1,57	2,91	46	1,26	0,85	0,85	1,00	0,32
Зона влияния соседних выпусков	M21	18	1,84	1,56	2,88	46	1,29	0,85	0,85	1,00	0,34
	M22	19	1,81	1,52	2,86	47	1,07	0,68	0,88	0,49	0,36

* W — естественная влажность; ρ , ρ_d , ρ_s — плотность грунта в естественном сложении, плотность скелета и плотность твердого компонента соответственно; n — пористость; e_{\min} , e_{\max} , $e_{\text{ест}}$ — коэффициент пористости для плотного, рыхлого и естественного сложения соответственно; I_d — степень плотности; F — уплотняемость. Характеристика мест отбора образцов с указанием их номеров приводится в тексте.

держащих минералов, находящихся в основной массе частиц кварца. Морфология зерен намывных грунтов отличается от таковой для природных разностей. Отдельные частицы достаточно изометричны, имеют остроугольную неокатанную форму. Зерна кварца являются прозрачными, в сростках с железосодержащими минералами — серыми, разных оттенков.

Более тонкие фракции содержат уже только единичные частицы железосодержащих минералов, которые хорошо видны под микроскопом при 100-кратном увеличении благодаря даваемому ими характерному отблеску. Они имеют изометричную неокатанную форму и уменьшаются по размеру вдоль профиля намыва от 1,2 до 0,2 мм.

Кроме вышеописанных отдельно можно выделить палочковидные частицы различных размеров и плоские агрегаты, расщепляющиеся по спайности. Последние, судя по их достаточно высокому содержанию в общей массе, по-видимому, являются Mg-Fe-амфиболами (ленточными силикатами).

Более тонкие фракции, содержание которых увеличивается при удалении от места выпуска пульпы, представлены различными по форме частицами. Они беспорядочно располагаются среди относительно крупных зерен. Угловатость частиц может объясняться как механическим дроблением исходной породы и недолгим временем намыва хвостов, так и неспособностью частиц тонкопесчаного и пылеватого размеров окатываться в водной среде.

Микроструктура рассматриваемого грунта является скелетной, по типу пор — межзернистой. В таблице 5 приводится характеристика порового пространства, полученная В.Н. Соколовым при обработке растровых электронно-микроскопических изображений образца M19 (из зоны сброса пульпы) при его ориентировке в перпендикулярном и параллельном намыву направлениях. Приведенные данные подтверждают анизотропное строение исследуемого массива на микроуровне, что выражается в проявлении слоистости, и на макроуровне (рис. 9).

Физические и водно-физические свойства грунтов

Для намывных грунтов — хвостов обогащения Лебединского ГОК — были определены некоторые показатели физических и водно-физических свойств. Полученные результаты представлены в табл. 6.

Благодаря наличию железосодержащих минералов в составе хвостов обогащения грунты в целом имеют высокие значения различных показателей плотности. При этом естественная плотность (1,74–2,04 г/см³), величина которой зависит в т.ч. и от естественной влажности, будет меняться не только по направлению намыва, но и с течением времени после прекращения намыва благодаря испарению и инфильтрации воды. Значения плотности твердого компонента высокие (2,86–3,02 г/см³), они определяются особенностями минерального состава. Показатели плотности хвостов в рыхлом и плотном сложении достаточно постоянны. В зоне сброса эти параметры по дополнительному профилю имеют более низкие значения (1,53–1,70 г/см³), чем в месте выпуска пульпы (M19). Это особенно важно, т.к. грунты этой зоны в основном используются для возведения новых дамб.

Значения естественной влажности, при незначительных колебаниях, иллюстрируют постепенное увлажнение грунтов по направлению к пруду-отстойнику. Низкие значения гигроскопической влажности (доли процента) говорят о малом количестве активных зон на поверхности минералов, способных удерживать воду. При этом в тонкодисперсных фракциях (M10) такая способность возрастает благодаря появлению слоистых силикатов, в т.ч. глинистых минералов.

Полученные расчетные показатели физических свойств (табл. 6) говорят о том, что изучаемые грунты являются неоднородными: коэффициент (степень) их плотности I_d варьирует в широких пределах — от 0,16 до 1,00. При этом плотное сложение характерно для более тонкодис-



Таблица 7

Результаты компрессионных испытаний пылеватых хвостов*					
Зона фракционирования	№ образца	Интервал давления, МПа	Коэффициент уплотнения a , 1/МПа	Компрессионный модуль деформации, $E_{ок}$, МПа	Модуль деформации E , МПа
Зона сброса пульпы	M17	0–0,05	2,40	0,6	0,5
		0,05–0,40	0,33	4,4	3,8
	M19	0–0,1	0,06	25,0	21,0
		0,1–0,4	0,01	220,0	190,0
Промежуточная зона	M13	0–0,1	0,04	37,0	32,0
		0,1–0,2	0,09	16,0	14,0
		0,2–0,4	0,04	37,0	32,0
	M14	0–0,2	0,02	73,0	63,0
		0,2–0,4	0,05	29,0	25,0
	M15	0–0,1	0,23	6,3	5,5
		0,1–0,2	0,12	12,0	10,0
0,2–0,4		0,02	73,0	63,0	
Зона влияния соседних выпусков пульпы	M21	0–0,1	0,02	73,0	63,0
		0,1–0,4	0,05	29,0	25,0
	M22	0–0,05	3,40	0,4	0,4
		0,05–0,40	0,83	1,8	1,5
	M32	0–0,05	0,60	2,5	2,1
		0,05–0,40	0,05	28,0	24,0

* Характеристика мест отбора образцов с указанием их номеров приводится в тексте.

персных грунтов ($I_d = 0,70 \div 1,00$). В месте выпуска пульпы коэффициент плотности составляет 0,67. В зоне сброса, в радиусе 20 м от места выпуска пульпы, сложение грунтов может резко меняться: в пределах дополнительного профиля коэффициент плотности возрастает до 0,96–1,00, а по главному направлению намыва он уменьшается до 0,16. Уплотняемость грунтов является средней (0,32–0,38).

Для трех образцов — M10, M15, M19 — определялась высота капиллярного поднятия, которая составила 76, 72 и 77 см соответственно. Закономерности изменения его скорости для изученных грунтов соответствуют природным разностям. С увеличением крупности частиц скорость капил-

лярного поднятия возрастает. Большие численные значения его высоты являются благоприятным фактором (при неглубоком залегании грунтовых вод), влияющим на способность хвостов к пылению. Если грунты хвостохранилища будут находиться в зоне капиллярной каймы, то они будут достаточно увлажнены, чтобы их пыление не происходило.

Значения коэффициента фильтрации изученных грунтов изменяются в соответствии с их гранулометрическим составом. Для образца M19 (в зоне сброса пульпы) коэффициент фильтрации составляет 0,04 см/с, а у пробы M10 (взятой близ пруда-отстойника) он уменьшается до 0,0024 см/с.

Таблица 8

Изменение показателей прочности пылеватых хвостов по профилям намыва								
Показатель	Зона фракционирования							
	пруда-отстойника		промежуточная		сброса пульпы		влияния соседних выпусков	
	№ образца							
	M10	M11	M13	M15	M17	M19	M21	M32
Угол естественного откоса, °	-	34	36	32	34	34	37	38
Угол внутреннего трения, °	35	37	34	28	33	32	37	39
Удельное сцепление, МПа	0,007	0,008	0,005	0,015	0,007	0,100	0,002	0



Физико-механические свойства грунтов

Благодаря особому минеральному составу и способу образования хвостов обогащения эти грунты имеют высокие деформационные и прочностные характеристики. Их коэффициенты уплотнения и модули деформации были рассчитаны графическим способом в результате анализа компрессионных кривых (табл. 7). На рассматриваемых кривых можно выделить два-три участка, отражающих разный характер деформаций. У ряда образцов есть небольшая структурная прочность, которая существует за счет капиллярной связности при начальных нагрузках (0–0,025 МПа). Деформация грунтов, проявляющаяся после преодоления структурной прочности, максимальна на первом этапе, т.е. для большинства образцов при сравнительно небольших нагрузках происходит более значимое уплотнение грунтов (при относительно низких значениях модулей деформации). При увеличении нагрузки компрессионные кривые выстраиваются.

Сходство значений угла внутреннего трения и угла естественного откоса, определенных стандартными методами [5], показывает, что у анализируемых грунтов они действительно иногда превышают величины, характерные для природных песчаных разностей (табл. 8). Благодаря особой угловатой форме частиц для хвостов обогащения характерно сцепление за счет механизма зацепления между отдельными зернами. Под водой угол естественного откоса составляет 32° для пылеватых хвостов из зон сброса пульпы и промежуточной (образцов М19 и М15).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Намывные отложения относятся к специфическим грунтам, образующим техногенные массивы, инженерно-геологические особенности которых во многом обусловлены источником их формирования — отраслью производственной деятельности человека. Поэтому именно это и является основой для систематизации намывных грунтов и массивов.

Слабая изученность таких отложений при инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканиях вынуждает проводить дополнительные исследования с целью детального описания, определения их состава и свойств и прогноза взаимоотношений с окружающей природной средой. Специальные исследования намывных грунтов также необходимы при возведении дамб наращивания. В этом случае они являются не только основанием, но и материалом грунтового сооружения. Следует подчеркнуть, что нормативная база, регламентирующая производство изысканий на таких отложениях, практически не разработана.

Анализ инженерно-геологических особенностей хвостов Лебединского горно-обогатительно-

го комбината показал их специфический состав, обусловленный исходным составом руды, технологией ее добычи и переработки. Эти отложения имеют более высокую дисперсность, чем природные пески и супеси, но являются несвязными. Среднее содержание песчаных фракций у грунтов зон сброса и промежуточной составляет 50%. Минеральный состав хвостов Лебединского ГОК изменяется мало, однако заметно его различие между зонами сброса пульпы и прудковой. Эти отложения характеризуются скелетной структурой и слоистой текстурой, определяющей анизотропию свойств. Содержание железосодержащих минералов определяет высокие значения показателей их плотности при средней естественной пористости 45%. Эти намывные грунты обладают высокими прочностными и деформационными характеристиками.

Для анализа свойств хвостов обогащения используются методики и классификации, разработанные для природных грунтов. Для хвостов мокрой магнитной сепарации железных руд такие способы определения в основном обоснованы, но полученные результаты не всегда могут быть интерпретированы с использованием общих классификаций, закрепленных нормативными документами, действующими в Российской Федерации. Частные классификации имеют ряд ограничений, не позволяющих использовать их для рассматриваемых грунтов.

Непрерывное увеличение объемов накапливаемых техногенных грунтов приводит к тому, что они все чаще вовлекаются в сферу хозяйственной деятельности человека. Необходимость использования таких отложений в качестве оснований, среды или материала для строительства сооружений определяет актуальность их дальнейших исследований, обобщения имеющихся фактических материалов и разработки специальных нормативных документов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ ГФЕН №11-05-91165.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афонин А.П., Дудлер И.В., Зиангиров Р.С. и др. Классификация техногенных грунтов // Инженерная геология. 1990. № 1. С. 115–121.
2. Бересневич П.В., Кузьменко П.К., Неженцева Н.Г. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ. М.: Недра, 1993. 128 с.
3. Гальперин А.М., Кутепов Ю.И., Кириченко Ю.В. и др. Освоение техногенных массивов на горных предприятиях. М.: Горная книга, 2012. 336 с.
4. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2012. 78 с.
5. Лабораторные работы по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 520 с.
6. Огородникова Е.Н., Николаева С.К. Техногенные грунты. М.: Изд-во МГУ, 2004. 250 с.



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ЛЮБАВИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ) ENGINEERING GEOLOGICAL FEATURES OF THE HOST ROCKS IN LUBAVINSKOYE GOLD DEPOSIT (TRANS-BAIKAL TERRITORY)

ДЕМИНА Ю.А.

Магистрант геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, demmo4k@mail.ru

ФРОЛОВА Ю.В.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии
геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
к.г.-м.н., г. Москва, skalka@geol.msu.ru

ПISKUNOV В.В.

Геолог ООО «РДМ», г. Москва,
Vladimir.Piskunov@russdragmet.ru

ПОТРЯСАЕВ И.И.

Студент геологического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова,
г. Москва

DEMINA YU.A.

An undergraduate of the faculty of geology of Lomonosov Moscow State
University, Moscow, demmo4k@mail.ru

FROLOVA YU.V.

An associate professor of the department of engineering and ecological
geology of the faculty of geology of Lomonosov Moscow State University,
candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow,
skalka@geol.msu.ru

PISKUNOV V.V.

A geologist of the «RDM» Ltd, Moscow,
Vladimir.Piskunov@russdragmet.ru

POTRYASAEV I.I.

A student of the faculty of geology of Lomonosov Moscow State University,
Moscow

Ключевые слова:

Забайкальский край; Любавинское золоторудное
месторождение; вмещающие породы; инженерно-
геологические особенности; прочностные свойства;
деформационные свойства; гранодиориты; метасоматиты;
сланцы; микротрещиноватость; степень выветрелости

Key words:

Trans-Baikal Territory; Lubavinskoye gold deposit; host rocks;
engineering geological features; strength properties; deformation
properties; granodiorites; metasomatic rocks; schists,
microjointing; weathering degree

Аннотация

В статье рассмотрены инженерно-геологические особенности вмещающих пород Любавинского золоторудного месторождения Забайкалья. Выделены три генетические группы этих пород — магматические интрузивные (гранодиориты), метаморфические (филлитоподобные сланцы) и метасоматические (березиты). Рассмотрены их физические и физико-механические свойства. Показано влияние на эти свойства различных факторов — минерального состава, структурно-текстурных особенностей, пористости, микротрещиноватости, степени выветрелости.

ВВЕДЕНИЕ

Восточное Забайкалье является богатейшим горнорудным районом России, в котором золото — основное полезное ископаемое. Одним из старейших объектов добычи коренного золота в Забайкальском крае является Любавинское месторождение, разрабатываемое с 1881 г. За длительный срок существования этого рудника он несколько раз консервировался. Разведочные работы были малоэффективными из-за слабой изученности месторождения. Многие исследователи, посетившие его в разные годы, указывали на его недоразведанность [2].

Изучением Любавинской рудно-магматической системы занимались такие ученые, как А.П. Герасимов, В.А. Обручев, Н.Н. Биндеман, Ю.В. Соколов, Е.М. Квятковский, В.В. Старченко, Ю.В. Казыцын, Л.В. Таусон, Н.А. Китаев, Р.А. Баумштейн, Р.В. Грабеклис, Г.В. Шубин, В.В. Залуцкий, С.П. Летунов, геологи Читинского геологического управления, Любавинского рудника и многие другие. Результаты этих исследований изложены в многочисленных научных трудах (например, в [2]). В основном они содержат информацию об условиях формирования месторождения, источниках золотого оруденения, геохимическом и петрографическом составе пород и руд Любавинского руд-

Abstract

The paper deals with engineering geological features of the host rocks in the Lubavinskoye gold deposit (Trans-Baikal Territory). Such three genetic groups of the rocks as magmatic intrusive (granodiorites), metamorphic (phyllitic schists) and metasomatic (beresites) ones are singled out. Their physical and physical-mechanical properties are considered. Influence of various factors (mineral composition, structural and textural features, porosity, microjointing, weathering degree) on the properties is shown.

ного узла. Данные о свойствах рассматриваемых пород (как палеозойского структурного яруса, так и раннемезозойского возраста) совсем немногочисленны. Они изложены в работе [5].

В последние годы с целью подсчета запасов Любавинского месторождения возобновлены геологоразведочные работы, включающие комплекс инженерно-геологических исследований. В связи с этим возникла необходимость получения данных о физико-механических свойствах вмещающих пород данного месторождения. Целью настоящего исследования является изучение этих пород — их генетической принадлежности, состава, строения и физико-механических свойств. Эти данные необходимы при оценке инженерно-геологических условий Любавинского месторождения.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Любавинское рудное поле расположено на юго-востоке Читинской области в 400 км от областного центра и в 25 км севернее границы России с Монголией. Его общая площадь составляет приблизительно 130 км². В физико-географическом отношении оно занимает приосевую часть южного отрога Станового хребта в междуречье Тырина и Кыры — левых притоков реки Онон, одного из истоков р. Амур (рис. 1).

В тектоническом отношении исследуемый район расположен в пределах Монголо-Охотского складчатого пояса (Монголо-Забайкальской складчатой системы). Его геологическое строение связано с историей развития юго-западной части этого пояса, в частности, с закрытием океанического бассейна и последующей продолжительной коллизией Сибирского и Монголо-Китайского континентов [10].

Стратифицированные образования в пределах месторождения представлены пермо-триасовыми толщами, сложенными метаморфизованными песчано-сланцевыми отложениями. Процессы коллизии и масштабного тектонического сжатия привели к значительным надвиговым и сдвиговым перемещениям, формированию складчатости и интенсивному дислоцированию терригенных пермо-триасовых отложений и их метаморфизации. В условиях сжатия были заложены системы трещин [10]. Интрузивные образования территории представлены гранитоидами юрского возраста. Контуры месторождения совпадают на отдельных участках с Любавинским глубинным разломом субширотного простирания, сформированным в песчано-сланцевой толще. Разлом вмещает так называемые «Любавинские пальцевые интрузии» мезозойских гранитоидов (по данным из отчета ООО «РДМ-Ресурсы» о результатах поисковых и оценочных работ в пределах Любавинского рудного узла за 2006–2008).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Образцы вмещающих пород (из кернов восьми скважин, пробуренных до глубины 108 м) для исследования были предоставлены авторам компанией ООО «РДМ», проводящей геологоразведоч-

ные работы на Любавинском золоторудном месторождении.

В ходе лабораторных исследований определялись и рассчитывались следующие показатели физических и физико-механических свойств пород: плотность ρ , плотность твердых частиц ρ_s , коэффициент выветрелости K_v , пористость n , скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, деформационные характеристики (динамический модуль упругости E_d ; динамический коэффициент Пуассона μ_d ; статический модуль упругости $E_{ст}$; статический коэффициент Пуассона $\mu_{ст}$; модуль общей деформации E_0 ; коэффициент поперечного расширения μ_0), прочность на одноосное сжатие R_c , коэффициент размягчаемости K_p , прочность на разрыв R_p , сцепление C и угол внутреннего трения ϕ . Все определения свойств проводились в лабораториях кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова в соответствии со стандартными методиками [3, 6].

Определение деформационных свойств проводилось двумя способами — динамическим методом и при одноосном нагружении образца с постоянной скоростью (статическим методом).

В основе методики определения деформационных характеристик скальных грунтов динамическим методом лежат законы линейной теории упругости. Роль динамической нагрузки выпол-

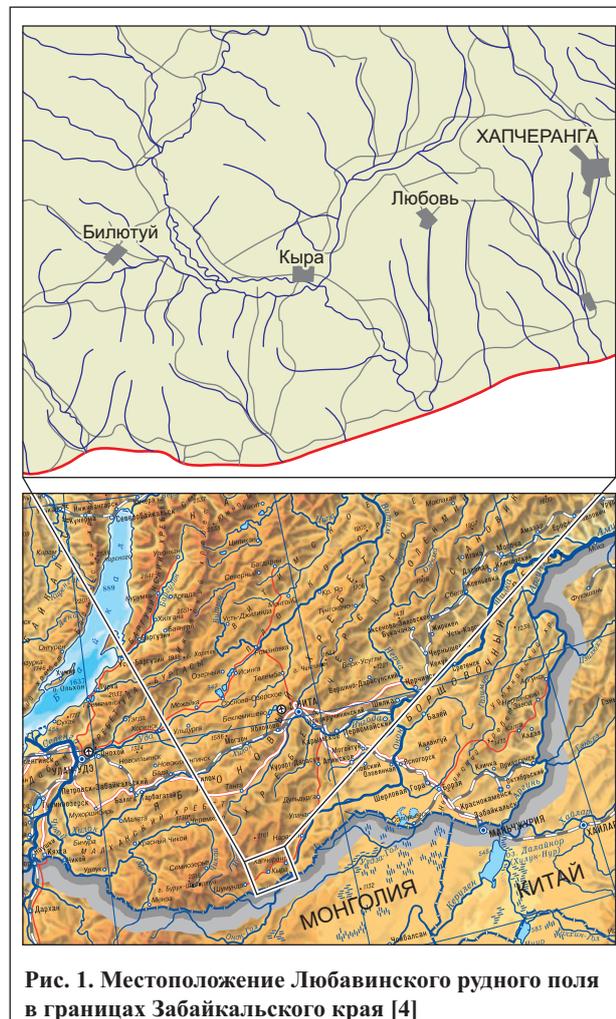


Рис. 1. Местоположение Любавинского рудного поля в границах Забайкальского края [4]

няет ультразвуковой импульс, величина которого, место приложения и направление остаются постоянными в течение опыта. С помощью динамического метода определялись модуль упругости E_d и коэффициент Пуассона μ_d :

$$\mu_d = (V_p^2 - 2V_s^2) / (2(V_p^2 - V_s^2)); \quad (1)$$

$$E_d = V_p^2 \rho (1 + \mu_d) (1 - 2\mu_d) / (1 - \mu_d). \quad (2)$$

Определение значений скорости распространения упругих волн, необходимых для расчетов, производилось на приборе «Ультразвук» с частотой работы датчиков 250 кГц.

Определение деформационных характеристик при одноосном сжатии основано на измерении продольных и поперечных деформаций при непрерывном нагружении образца с постоянной скоростью. Измерения проводились на образцах цилиндрической формы с отношением высоты H к диаметру D , максимально приближенным к значению 2. Испытания проводились на гидравлическом полуавтоматическом прессе Controls (с максимальным усилием 1500 кН) с измерительным модулем управления и контроля. Для регистрации деформаций использовалось 8-канальное измерительное устройство Datalog. Измерения деформаций в ходе эксперимента осуществлялись с помощью потенциометрических датчиков линейного перемещения WF 17006. Точность измерения деформации составляла 0,001 мм. Для регистрации продольной деформации использовался один датчик, поперечная регистрировалась тремя датчиками, далее для расчетов бралась средняя величина.

Испытание заключалось в нагружении образца с постоянной скоростью (примерно 1 кН/с) до нагрузки, не превышавшей 50–60% от максимального разрушающего усилия. Далее производилась разгрузка. В процессе нагружения и разгрузки образца регистрировались абсолютные деформации (отсчет снимался каждую секунду). По результатам испытаний были построены деформационные кривые в координатах «напряжение σ — относительная деформация ε ». По ветви нагрузки рассчитывались общий модуль деформации и коэффициент поперечного расширения, по ветви разгрузки — модуль упругости и коэффициент Пуассона.

Всего было исследовано 48 образцов.

Помимо определения вышеуказанных свойств исследовались состав, структура, текстура и микротрещиноватость пород, в т.ч. проводилось детальное изучение шлифов (изготовленных в шлифовальной мастерской геологического факультета МГУ мастером Г.М. Чураковым) и аншлифов (приготовленных студентом И.И. Потрясаевым и ст.н.с. В.М. Ладыгиным).

Описание шлифов и аншлифов проводилось с помощью оптического микроскопа OLYMPUS в проходящем и отраженном свете.

Для уточнения минерального состава один образец был изучен методом рентгеновской дифрактометрии с помощью дифрактометра «ДРОН-6» аналитиком В.Л. Косоруковым.

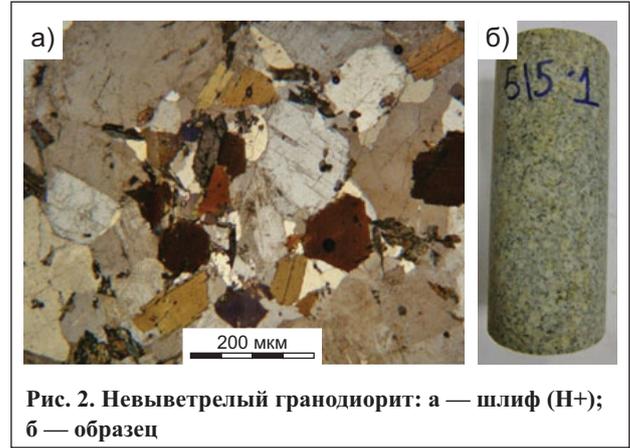


Рис. 2. Невыветрелый гранодиорит: а — шлиф (Н+); б — образец

Отдельное внимание было уделено изучению микротрещиноватости пород. Для этого на оптическом микроскопе в отраженном свете были исследованы и сфотографированы аншлифы. По аншлифам описывалась микротрещиноватость и вычислялись коэффициенты трещинной пустотности ($K_{тп}$) по методике Л.И. Нейштадт:

$$K_{тп} = S_{тр} / S \times 100\%, \quad (3)$$

где $S_{тр}$ — площадь трещин, рассчитанная по аншлифу с использованием программы Image Score S; S — площадь аншлифа.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И МИКРОТРЕЩИНОВАТОСТЬ ПОРОД

В результате детальных петрографических исследований среди пород Любавинского месторождения были выделены три различные по генезису группы — магматические интрузивные, метаморфические и метасоматические породы. Приведем их подробное описание.

Интрузивные породы представлены гранодиоритами, основными породообразующими минералами которых являются плагиоклаз, кварц, биотит, роговая обманка. В отдельных образцах присутствуют калиевый полевой шпат и моноклинный пироксен. Акцессорные минералы представлены сфеном, апатитом и цирконом. Среди вторичных минералов преобладают хлорит, эпидот, низкотемпературный мусковит (серицит), низкотемпературный амфибол, глинистые и карбонатные минералы. Содержание рудных минералов колеблется от 1 до 7%.

Гранодиориты по структуре полнокристаллические, неравномернотернистые (мелко-среднезернистые), гипидиоморфнотернистые; по текстуре — однородные, массивные (рис. 2).

Первичные минералы в различной степени замещены вторичными новообразованиями. Плагиоклазы и калиевые полевые шпаты пелитизированы, в отдельных образцах по ним развиваются серицит и карбонатные минералы (рис. 3, а). По биотиту нередко развиваются низкотемпературный мусковит, а также эпидот, хлорит и рудные минералы (рис. 3, б). Роговая обманка часто замещена низкотемпературным амфиболом. По моно-

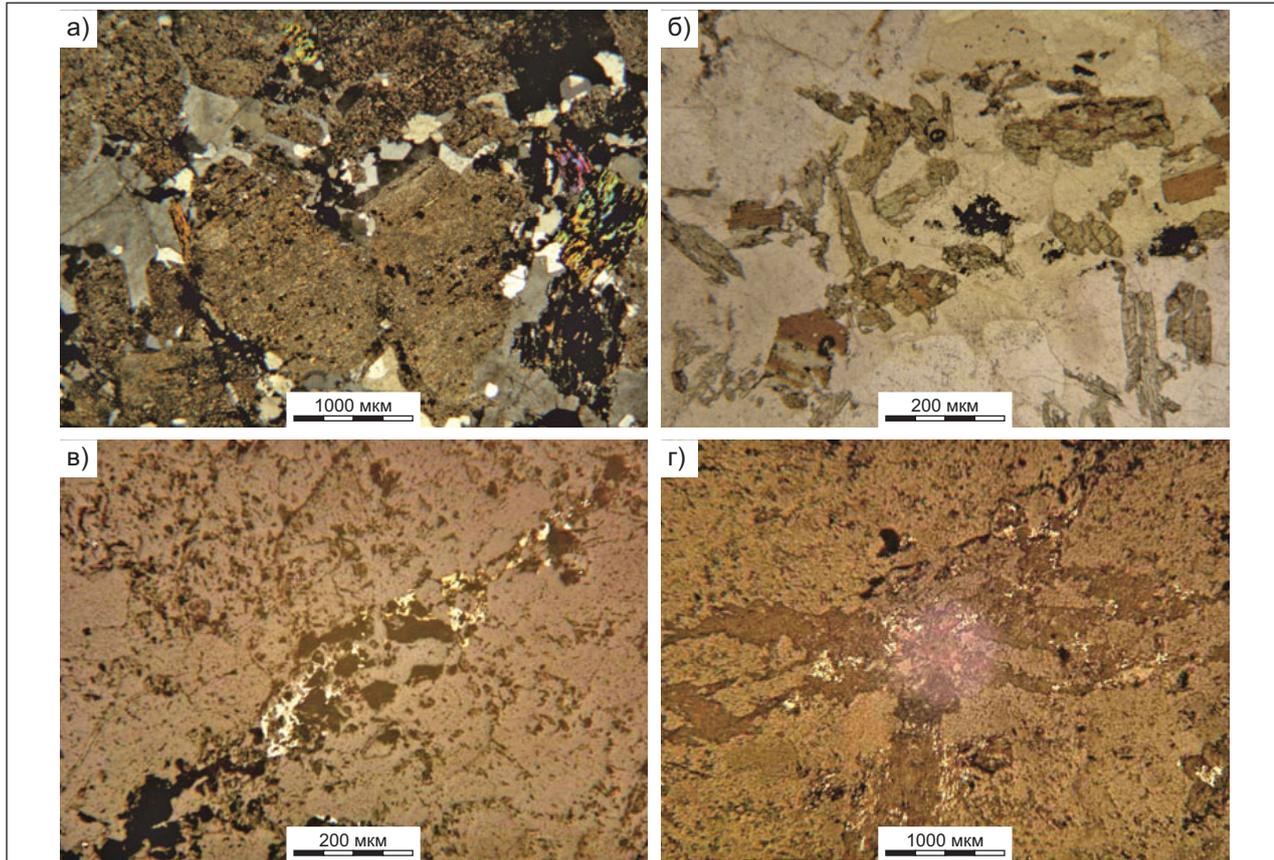


Рис. 3. Вторичные преобразования и трещиноватость гранодиоритов: а — пелитизация полевых шпатов при выветривании (Н+); б — кристаллы биотита, частично замещенные низкотемпературным мусковитом и рудными минералами (1Н); в, г — аншлифы: узкие (в) и широкие (г) тектонические трещины, заполненные кварцем и рудными минералами

клинному пироксену развиваются хлорит, карбонаты и эпидот.

Исследуемые гранодиориты являются в различной степени выветрелыми. Выветрелость проявляется в первую очередь в изменении цвета породы, появлении гипергенных трещин, часто железненных, и пелитизации полевых шпатов (см. рис. 3, а) Согласно классификации скальных и полускальных грунтов (по ГОСТ 25100-95) по коэффициенту выветрелости среди исследуемых гранодиоритов выделены следующие группы: (1) невыветрелые ($K_{кв} = 1$); (2) слабыветрелые ($0,9 < K_{кв} < 1$); (3) выветрелые ($0,8 < K_{кв} < 0,9$).

Микротрещиноватость. По данным, полученным при макроописании трещиноватости и детальном изучении аншлифов под микроскопом, согласно классификации [9] выделены две группы пород: (1) с открытыми тектоническими и наложенными на них гипергенными трещинами; (2) с закрытыми трещинами. Среди закрытых трещин по генезису можно выделить тектонические и первичные петрогенетические. Тектонические трещины — волосовидные, без заполнителя; очень узкие и узкие, заполненные кварцем, карбонатными, глинистыми и рудными минералами, прямолинейные и извилистые, ровные, прерывистые (рис. 3 в, г). Также во всех образцах присутствуют первичные трещины, развитые в кристаллах калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Первичные трещины являются прямолинейными, волосовидными, прерывистыми.

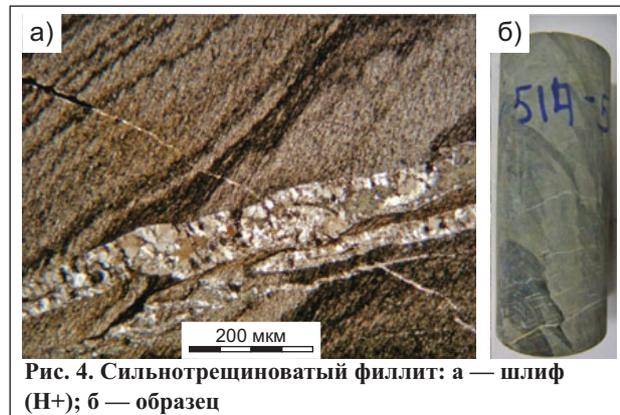


Рис. 4. Сильнотрещиноватый филлит: а — шлиф (Н+); б — образец

Метаморфические породы представлены серицит-хлоритовыми микросланцами (филлитами). К основным породообразующим минералам здесь относятся серицит, кварц, хлорит; в отдельных образцах присутствует альбит (рис. 4, а). Содержание рудных минералов, как правило, не превышает 1%, однако в некоторых образцах их количество доходит до 10%.

По абсолютному размеру зерен выделяются тонкозернистые и тонко-мелкозернистые структуры, по относительной величине зерен — гомеобластовые и гетеробластовые структуры, по форме кристаллов различаются гранолепидобластовые и лепидобластовые разновидности. Различны и текстуры сланцев: большая их часть имеет ориентированные текстуры (полосчатые, сланцеватые), также встречены плейчатые (рис. 5, а) и массив-

ные различия. Ориентированные текстуры образованы чередованием прослоев различной зернистости и/или различного состава. Прослои в большинстве случаев расположены наклонно к оси зерна (рис. 4, б). Однако в некоторых образцах наблюдается вертикальная слоистость.

Микротрещиноватость. Все образцы пересечены разноориентированными различными по степени открытости микротрещинами и прожилками, заполненными преимущественно кварцем, реже альбитом, слюдой, эпидотом, кальцитом, глинистыми и рудными минералами (рис. 5, б).

По характеру и интенсивности микротрещиноватости выделяются две группы сланцев. Образцы первой группы относятся к слабо- ($K_{\text{тр}} < 2\%$) и среднетрещиноватым ($K_{\text{тр}} = 2\div 5\%$). В них выделяются две системы трещин, различных по направлениям в отношении к сланцеватости и перпендикулярных между собой. Трещины в данных системах очень узкие и узкие, в основном прямолинейные, прерывистые, заполненные кварцем, глинистыми и частично рудными минералами, реже слюлистыми минералами и эпидотом (рис. 5, в). Вторая группа объединяет сильно- ($K_{\text{тр}} = 5\div 10\%$) и очень сильнотрещиноватые ($K_{\text{тр}} > 10\%$) сланцы. В них выделяются три системы трещин, различных по направлениям по отношению к сланцеватости, причем одна из них совпадает с направлением сланцеватости. Трещины различны по степени открытости (от волосовидных и очень узких до

широких), форме (прямолинейные, извилистые), характеру разветвления (перистые, елочковидные), могут быть как прерывистыми, так и непрерывными по всей ширине шлифа. Различен и состав заполнителя: обычно трещины заполнены кварцем, рудными и глинистыми минералами, реже встречаются альбит и карбонатные минералы (рис. 5, з). Также по ним часто наблюдается ожелезнение.

Метасоматические породы представлены березитами. Березитизация представляет собой один из самых распространенных типов околожильных преобразований и известна для месторождений золота, серебра, полиметаллов и др. В частности, березиты рассматриваются как типоморфная метасоматическая формация для золотых руд. Березиты являются низко-среднетемпературными метасоматитами ($T = 200\div 400\text{ }^{\circ}\text{C}$), образующимися в результате кислотного метасоматоза (рН 4–5) по кислым и средним магматическим, терригенным породам и продуктам их метаморфизма. Основными минералами являются серицит (мусковит), кварц, карбонаты и пирит [7, 8].

Метасоматиты Любавинского месторождения образованы по гранитоидам и по сланцам. Рассмотрим отдельно эти группы пород.

Березиты, образованные по гранитоидам (рис. 6, б). Первичные породообразующие минералы гранитоидов — плагиоклаз, кварц, биотит, калиево-натриевый полевой шпат — под воздействием гидротермальных растворов разлагаются и замещаются

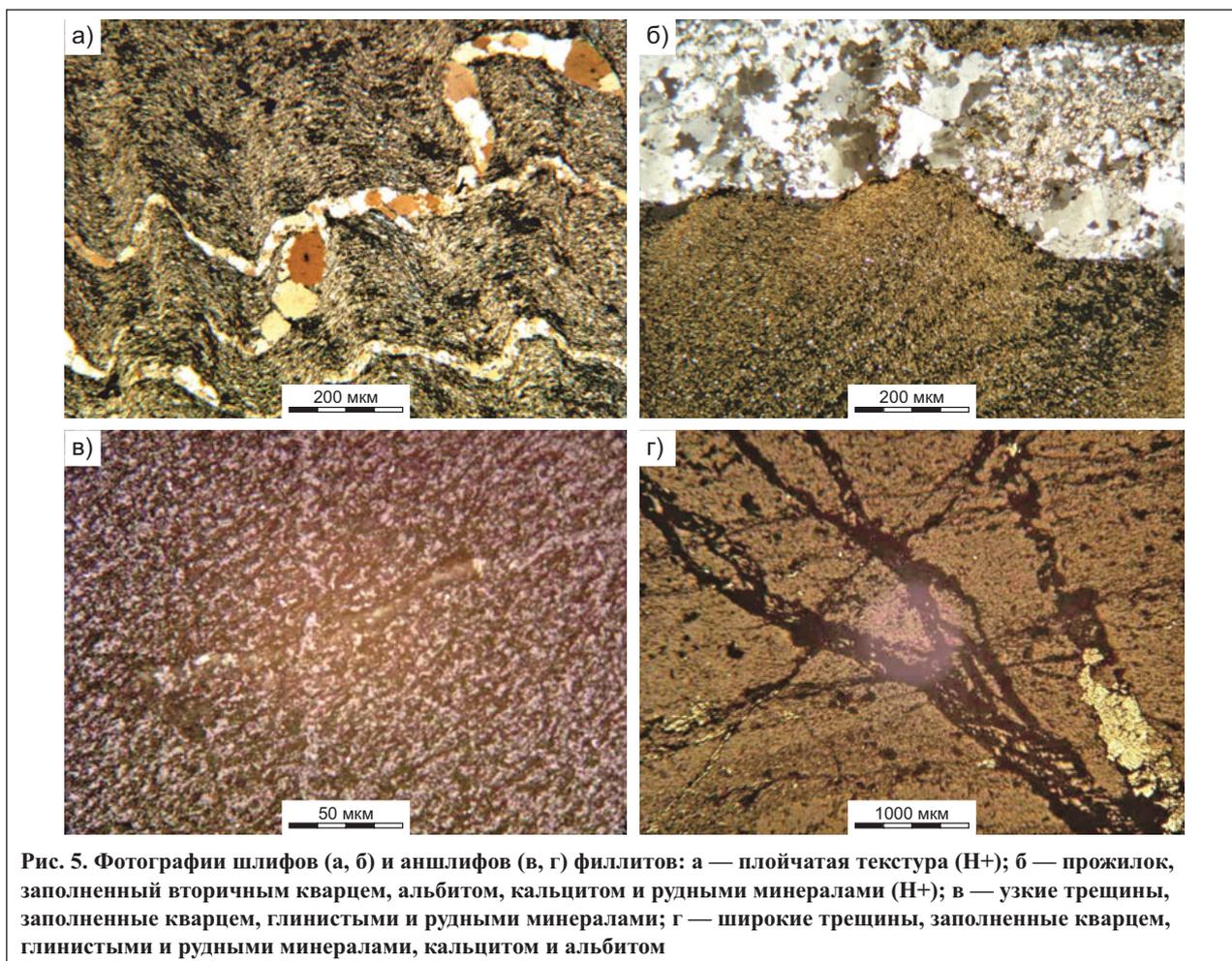


Рис. 5. Фотографии шлифов (а, б) и аншлифов (в, г) филлитов: а — плейчатая текстура (Н+); б — прожилок, заполненный вторичным кварцем, альбитом, кальцитом и рудными минералами (Н+); в — узкие трещины, заполненные кварцем, глинистыми и рудными минералами; г — широкие трещины, заполненные кварцем, глинистыми и рудными минералами, кальцитом и альбитом

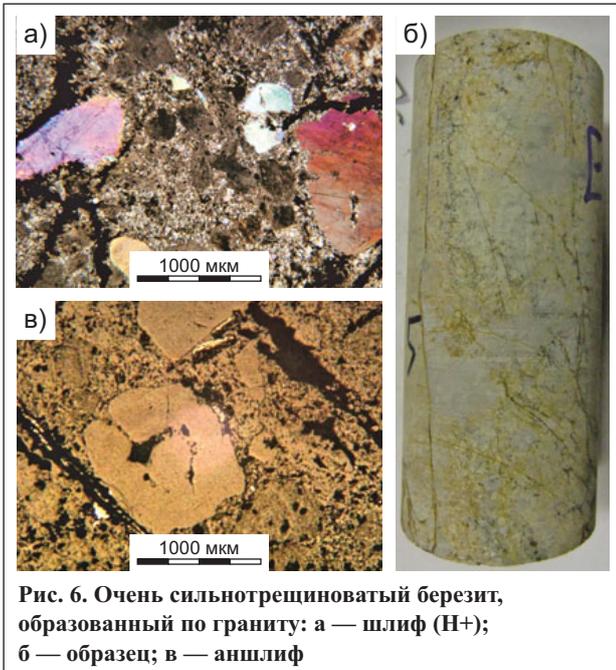


Рис. 6. Очень сильнотрещиноватый березит, образованный по граниту: а — шлиф (Н+); б — образец; в — аншлиф

вторичными новообразованиями. Среди вторичных минералов преобладают серицит/мусковит и кварц, в меньшем количестве присутствуют карбонатный минерал ряда «доломит — анкерит» и хлорит (рис. 6, а). Мусковит образует крупные вкрапленники размером до 3 мм, серицит псевдоморфно замещает первичные кристаллы в виде мелкочешуйчатых агрегатов. Метасоматический кварц развивается в виде мелкозернистых гранобластовых агрегатов, в которых встречаются крупные реликтовые кристаллы первичного кварца. Во многих образцах встречаются такие вторичные минералы, как пирит, эпидот, сфен, апатит, рутил, гетит, лимонит. Содержание рудных минералов в образцах достигает 10%.

По структуре березиты являются неравномернозернистыми, тонко-мелкосреднезернистыми, порфиробластовыми; по текстуре — массивными.

Микротрещиноватость. В березитах выделяются две группы трещин. Одну из них образуют первичные петрогенетические трещины, развивающиеся в кристаллах кварца и плагиоклаза. Эти трещины являются волосовидными и очень узкими, прямо-

линейными, прерывистыми. К другой группе относятся вторичные трещины тектонической природы и, возможно, трещины гидроразрыва. Они образуют три системы различных направлений по отношению к оси керна. Эти трещины прямолинейны по форме, различны по степени открытости (от волосовидных и очень узких до широких) и характеру разветвления (перистые, елочковидные), могут быть как прерывистыми, так и непрерывными по всей ширине шлифа. В составе заполнителя выделяются кварц, карбонатные и рудные минералы (рис. 6, в).

Березит по сланцу. Породообразующие минералы: кварц, биотит, мусковит. Содержание рудных минералов — не более 1%. Структура породы — тонко-мелкозернистая, гетеробластовая, лепидогранобластовая; текстура — полосчатая, образованная переслаиванием тонко- и мелкозернистых прослоев, темных и более светлых (рис. 7, а, б).

В березитах, образованных по сланцам, выделяются две системы трещин, различных по направлениям по отношению к слоистости. Эти трещины прямолинейны по форме, различны по степени открытости (от волосовидных и очень узких до широких), елочковидны по характеру разветвления, могут быть как прерывистыми, так и непрерывными по всей ширине шлифа. В составе их заполнителя выявлены кварц, карбонатные и рудные минералы.

По коэффициенту трещинной пустотности, по Л.И. Нейштадт [9], все исследованные породы разделены на слабо- (< 2%), средне- (2–5%), сильно- (5–10%) и очень сильнотрещиноватые (> 10%). Следует еще раз подчеркнуть, что в данной работе речь идет о микротрещиноватости.

ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОРОД

Значения физических и физико-механических свойств пород Любавинского месторождения приведены в табл. 1. Плотность и пористость вмещающих пород месторождения варьируют незначительно и в целом близки у всех трех генетических групп. Между тем прочностные и деформационные свойства исследованных пород изме-



Рис. 7. Сильнотрещиноватый березит, образованный по сланцу: а — образец; б — шлиф (Н+)

Таблица 1

Значения физических и физико-механических свойств пород Любавинского месторождения*												
Породы (количество образцов)		Плотность воздушно-сухого грунта, г/см ³	Плотность твердых частиц, г/см ³	Пористость, %	Динамический модуль упругости, ГПа	Динамический коэффициент Пуассона, д.ед.	Статический модуль упругости, ГПа	Коэффициент анизотропии, д.ед.	Модуль общей деформации, ГПа	Прочность на одноосное сжатие, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Сцепление, МПа
Интрузивные (10)	мин.–макс.	2,52–2,77	2,69–2,78	0,1–8,5	37,7–58,9	0,19–0,33	7,0–53,4	1,0	4,2–42,4	41–87	49–65	5–16
	средн.	2,67	2,72	1,8	46,3	0,26	22,0		19,1	66	54	11
Метаморфические (30)	мин.–макс.	2,53–2,84	2,73–2,85	0,1–9,7	15,3–72,3	0,24–0,36	7,7–46,4	0,8–2,4	4,8–42,6	9–71	13–60	3–14
	средн.	2,70	2,77	2,6	59,3	0,30	18,8		1,3	17,6	32	38
Метасоматические (8)	мин.–макс.	2,62–2,80	2,71–2,81	0,3–5,5	33,1–70,8	0,29–0,34	9,1–50,0	1,0	5,1–24,6	38–82	49–57	7–13
	средн.	2,70	2,77	2,3	51,7	0,32	26,1		17,1	61	53	10

няются в широких пределах и зависят от многих факторов — генезиса, степени выветрелости, направления сланцеватости, трещиноватости и др.

Деформационные свойства

Динамический модуль упругости. В целом динамический модуль упругости E_d закономерно возрастает с увеличением плотности и снижением пористости (рис. 8). На графиках его зависимости от плотности и пористости выделяются некоторые области с близкими значениями для групп пород, определенных по петрографическим характеристикам. Следует, однако, отметить, что в каждой из групп из общей тенденции выбиваются пониженные или повышенные значения модуля.

Наиболее высокими значениями E_d обладают породы метаморфического генезиса. При этом на фоне общей закономерности среди них выделяется сильнотрещиноватый ($K_{тп} > 10\%$) филлит с ярко выраженной наклонной к оси зерна сланцеватостью, который имеет пониженное значение модуля, равное 15,3 ГПа (см. рис. 4, б). Наличие трех

систем трещин, одна из которых совпадает с направлением сланцеватости, вызывает сильное снижение скорости прохождения упругих волн через образец, что, соответственно, уменьшает динамический модуль упругости. Так, для большинства исследуемых образцов метаморфических пород коэффициент анизотропии примерно равен единице, т.е. они являются изотропными. Однако у четырех проб коэффициент анизотропии больше 1,5, т.е. они анизотропны, что объясняется их резко выраженной сланцеватой текстурой.

Трещиноватость и сланцеватость образцов имеют в основном субвертикальный характер (располагаются параллельно оси зерна). Поэтому при измерениях скоростей вдоль оси зерна сланцеватость и трещиноватость не влияли на полученные значения. При замере скоростей поперек оси зерна их значения снизились до 50%.

В группе интрузивных пород при близких значениях плотности 2,65–2,70 г/см³ величины модуля упругости изменяются от 37 до 58 ГПа. Это связано, во-первых, с различной степенью выветрелости, а во-вторых — с различной интенсивностью

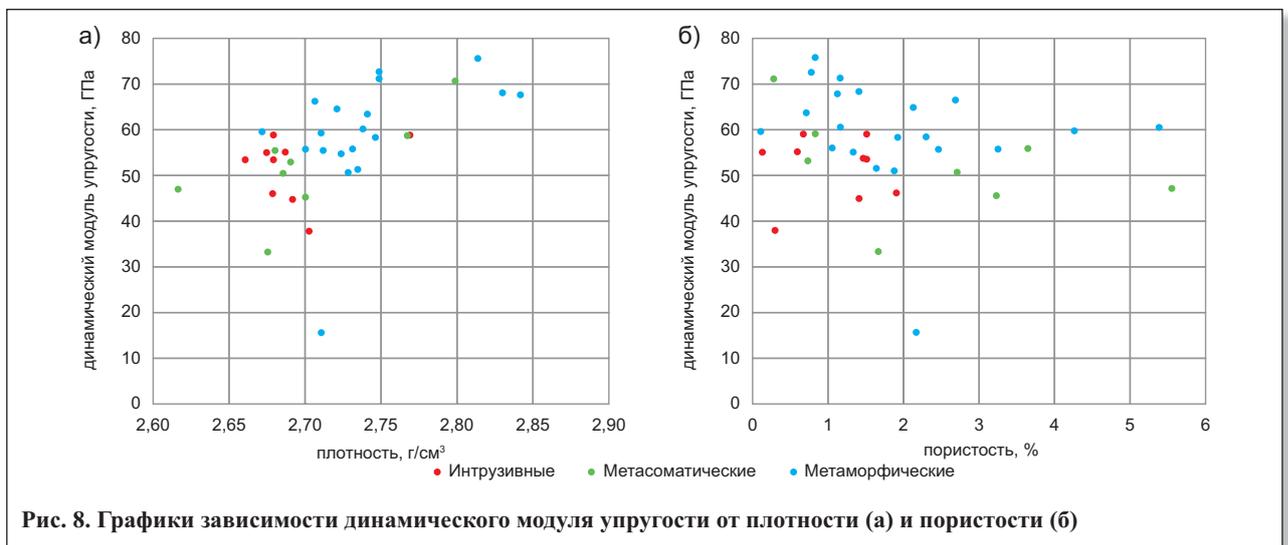


Рис. 8. Графики зависимости динамического модуля упругости от плотности (а) и пористости (б)

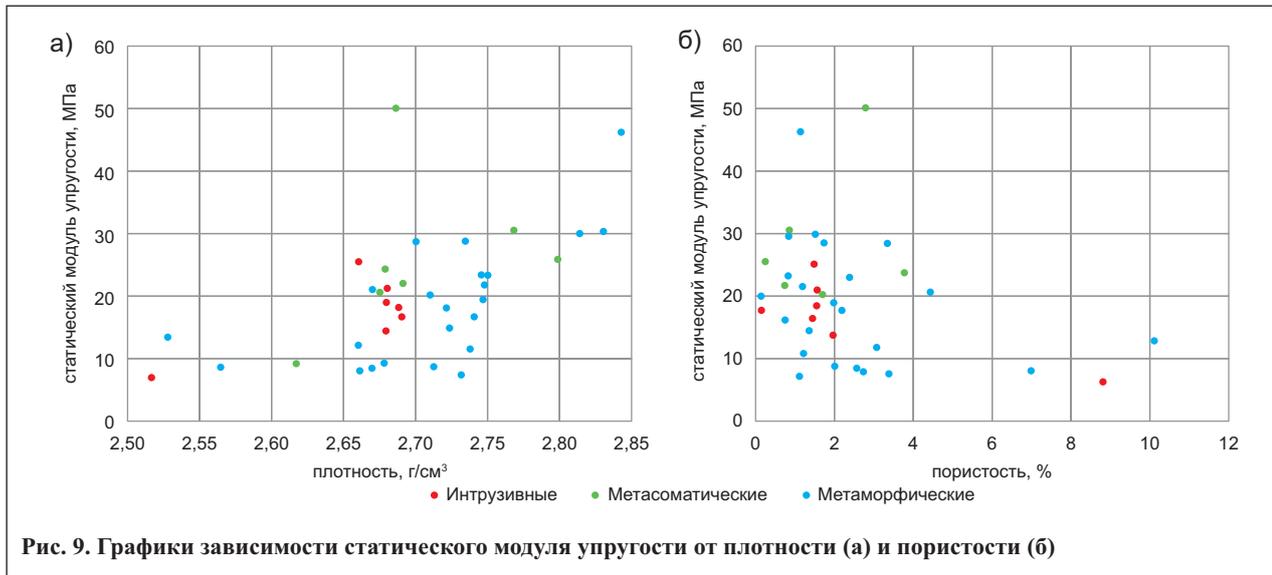


Рис. 9. Графики зависимости статического модуля упругости от плотности (а) и пористости (б)

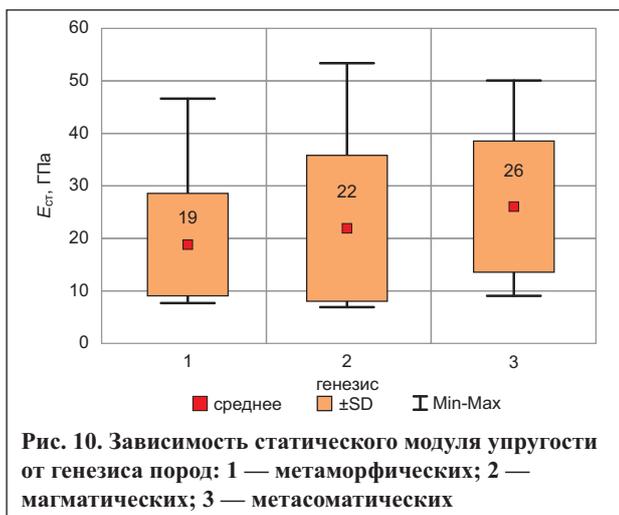


Рис. 10. Зависимость статического модуля упругости от генезиса пород: 1 — метаморфических; 2 — магматических; 3 — метасоматических

трещиноватости. Следует отметить, что при испытании наиболее выветрелого и трещиноватого образца гранита не удалось определить скорости прохождения упругих волн вследствие затухания ультразвукового сигнала при его просвечивании.

В группе метасоматических пород пониженным значением модуля упругости обладает сильнотрещиноватый березит, образованный по сланцу (см. рис. 7, а).

В целом при анализе графиков видно, что наименьшими значениями плотности и динамического модуля упругости обладают породы метасоматического и интрузивного происхождения. Более высокие значения E_d сланцев объясняются тем, что в них преобладает субвертикальная ориентировка трещин и сланцеватости, не снижающая скорости прохождения упругих волн, входящие в расчет динамического модуля упругости.

Статический модуль упругости. Статический модуль упругости $E_{ст}$ также повышается при увеличении плотности и уменьшении пористости пород (рис. 9). Однако следует отметить, что в этом случае в отличие от ситуации с динамическим модулем метаморфические породы обладают более низкими деформационными характеристиками по сравнению с интрузивной и метасоматической группами (рис. 10, см. табл. 1). Таким образом,

динамический и статический модули определяются различными факторами.

На деформационные свойства пород во многом влияет не только степень трещиноватости, но и ориентировка самих трещин. В частности, трещины и сланцеватость, ориентированные субвертикально, значительно снижают $E_{ст}$ сланцев, но не влияют на E_d , значения которого остаются высокими.

Среди метасоматических пород выделяется значительно более высокое значение статического модуля упругости ($E_{ст} = 50,5$ ГПа) слаботрещиноватого плотного березита по граниту с большим содержанием вторичного кварца, образующего прочную гранобластовую структуру (см. рис. 6, б).

Общая тенденция влияния трещиноватости на величину $E_{ст}$ показана на рис. 11: с увеличением степени трещиноватости статический модуль упругости снижается почти в три раза.

Анализ деформационных кривых. Как известно, деформирование скальных грунтов представляет собой сложный физический процесс, в котором обычно выделяют несколько стадий. Процесс этот в целом нелинейный и зависит от большого количества разных факторов [1].

По графикам зависимости относительной деформации от напряжения, полученным при одноосном нагружении образцов, можно проследить характер деформирования породы. В начале опыта при нагружении в большинстве случаев отмечается значительное развитие деформаций и соответствующий участок кривой имеет вогнутую форму. Это объясняется тем, что на данной стадии в образце закрываются поры и микротрещины. Затем при увеличении нагрузки деформации развиваются менее интенсивно. На этом участке взаимосвязь « $\sigma - \epsilon$ » является линейной, происходит упругое деформирование минерального скелета породы.

Величина остаточных деформаций пород, судя по полученным графикам, зависит от степени трещиноватости. У слабо- и среднетрещиноватых образцов ветви нагрузки/разгрузки располагаются близко друг к другу, т.е. преобладают упругие деформации (рис. 12, а). Общая относительная продольная деформация ($\epsilon_{прод}$) в таких породах не

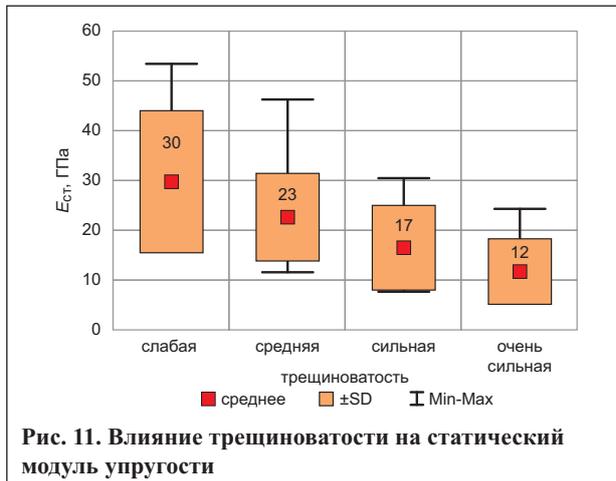


Рис. 11. Влияние трещиноватости на статический модуль упругости

превышает 0,2%. При деформировании сильно- и очень сильнотрещиноватых образцов общая деформация достигает 0,5%, при этом возникают большие остаточные деформации (рис. 12, б).

Прочностные свойства

По прочностным свойствам гранодиориты и метасоматиты близки между собой, а сланцы отличаются пониженными значениями соответ-

ствующих параметров (рис. 13). Так, прочность сланцев на одноосное сжатие ($R_c = 32$ МПа) в два раза меньше по сравнению с гранодиоритами ($R_c = 66$ МПа) и метасоматитами ($R_c = 61$ МПа).

Сцепление и угол внутреннего трения сланцев также существенно ниже (см. табл. 1). Все исследованные породы в целом относятся к неразмываемым, хотя в пределах каждой группы есть размываемые разновидности. Снижение прочности при водонасыщении связано с повышенной трещиноватостью пород и пелитизацией плагиоклазов при выветривании.

Основным фактором, влияющим на прочностные характеристики, также является трещиноватость (рис. 14). При увеличении ее степени прочность на одноосное сжатие снижается от 72 до 28 МПа для пород от слабо- до очень сильнотрещиноватых.

Для гранодиоритов выявлено изменение прочности с увеличением степени выветрелости (табл. 2). Зона выветривания распространяется на глубину около 20 м. При этом происходит увеличение трещиноватости — расширение и углубление тектонических трещин. По трещинам развивается ожелезнение. Полевые шпаты замещаются вторичными глинистыми минералами. В результате

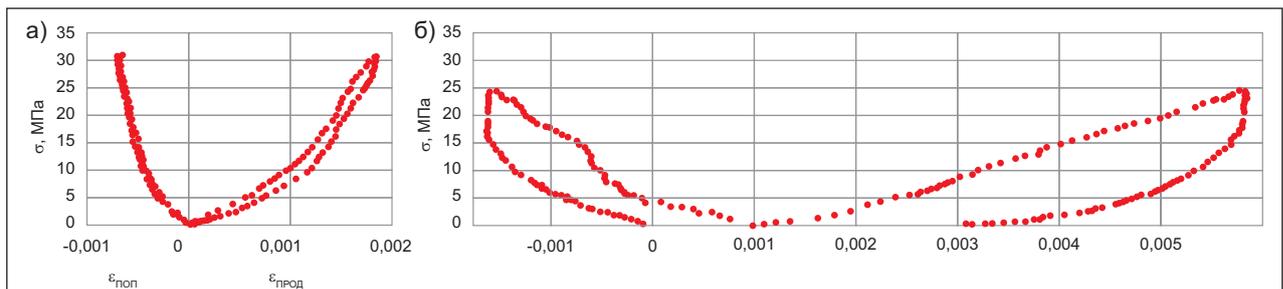


Рис. 12. Деформационные кривые (для скальных грунтов это достаточно стандартные графики [1]): а — для слаботрещиноватого гранодиорита; б — для сильнотрещиноватого метасоматита ($\epsilon_{\text{поп}}$ — относительная поперечная деформация; $\epsilon_{\text{прод}}$ — относительная продольная деформация; σ — напряжение)

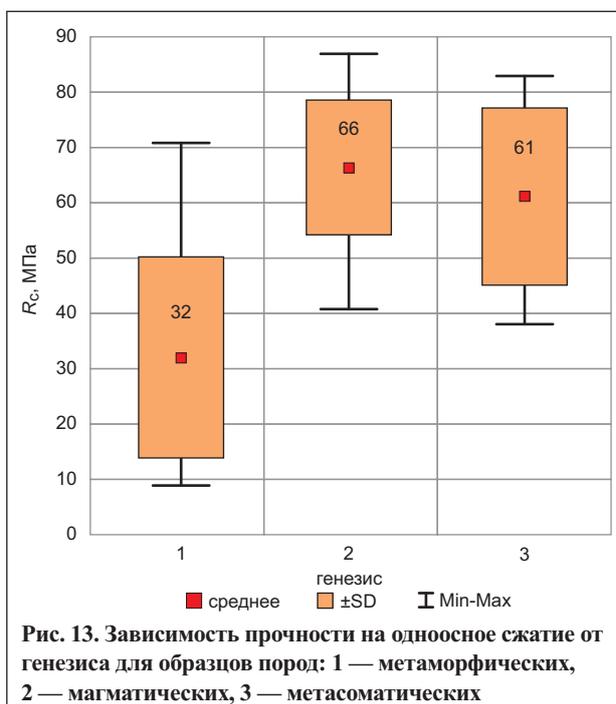


Рис. 13. Зависимость прочности на одноосное сжатие от генезиса для образцов пород: 1 — метаморфических, 2 — магматических, 3 — метасоматических

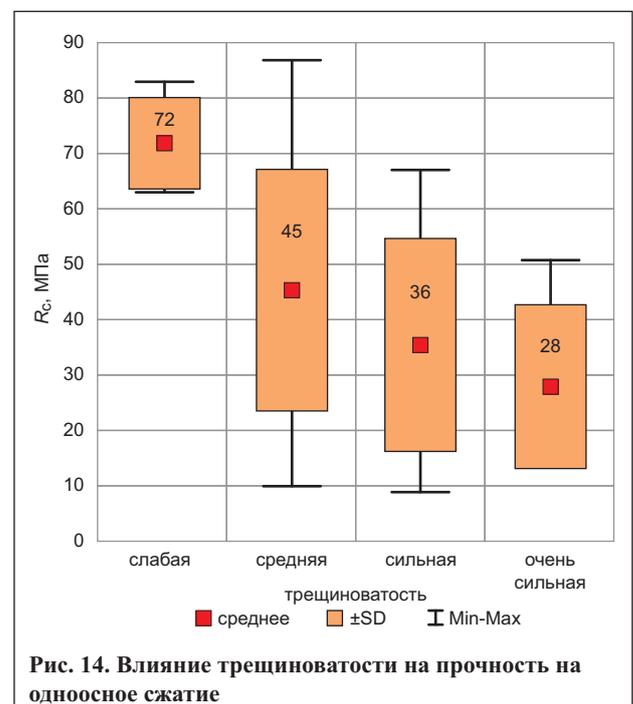
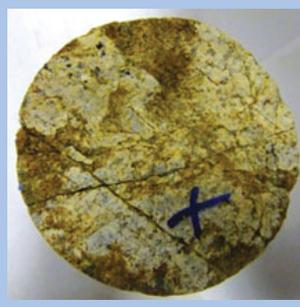


Рис. 14. Влияние трещиноватости на прочность на одноосное сжатие

Таблица 2

Влияние выветривания на прочностные свойства гранодиоритов			
Показатель	Группа пород по степени выветрелости		
	невыветрелые, $K_v = 1$	слабовыветрелые, $K_v = 0,9 \div 1,0$	выветрелые, $K_v = 0,8 \div 0,9$
ρ , г/см ³	2,77	2,64–2,69	2,52
R_c , МПа	87	61–79	41
K_p , д.ед.	0,84–1,00	0,59–1,00	0,42
C , МПа	16	8–12	5
Фотография			

выветривания гранодиориты разупрочняются: прочность на одноосное сжатие снижается в два раза, сцепление — в три раза. При водонасыщении сильно выветрелые породы размягчаются.

Заключение

Проведенные исследования показали, что вмещающие породы Любавинского месторождения различны по генезису, составу, текстурно-структурным особенностям, трещиноватости и степени выветрелости.

Выделены три группы пород, различных по генезису, — магматические интрузивные (гранодиориты), метаморфические (филитоподобные сланцы) и метасоматические (березиты). Все три группы имеют близкие значения плотности и пористости, однако отличаются по физико-механическим свойствам. В частности, наименее прочными являются метаморфические породы: их прочность в среднем в два раза ниже, чем у магматических и метасоматических. Аналогичная закономерность наблюдается и для статического модуля упругости.

Установлено, что главным фактором, влияющим на свойства пород, является их трещиноватость. По коэффициенту трещинной пустотности выделены четыре разновидности пород — слабо-, средне-, сильно- и очень сильнотрещиноватые. При увеличении степени трещиноватости прочность и модуль упругости снижаются (у очень сильнотрещиноватых пород они в три раза меньше, чем у слаботрещиноватых). Анализ деформационных кривых показал, что при нагружении слабо- и среднетрещиноватых образцов преобладают упругие деформации, а при деформировании сильно- и очень сильнотрещиноватых пород возникают большие остаточные деформации.

Следует отметить, что на свойства пород влияет не только степень трещиноватости, но и ориентировка трещин. Так, субвертикальные и слабона-

клонные к оси керны трещины не влияют на динамические упругие характеристики (они остаются высокими), но снижают статический модуль упругости и прочность.

Заметное влияние на свойства оказывает процесс выветривания, проявляющийся в развитии гипергенных трещин, ожелезнении и пелитизации полевых шпатов. Значения прочностных свойств и модуля упругости гранодиоритов при выветривании снижаются в два-три раза.

В группе метаморфических пород помимо степени трещиноватости важным фактором являются также их текстурные особенности, в частности ориентировка сланцеватости. Так, значения динамического модуля упругости в направлении, перпендикулярном сланцеватости, снижаются у некоторых образцов на величину до 60%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баклашов И.В. Геомеханика. Т. 1: Основы геомеханики. М.: Изд-во МГУ, 2004. 208 с.
2. Биндеман Н.Н. Геологическое строение Любавинского золоторудного месторождения // Разведка и охрана недр. 1968. № 10. С. 6–8.
3. Грунтоведение / под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
4. Замана Л.В., Вахнина И.Л. Техногенные ландшафты и гидрогеохимия Любавинского рудного поля (Юго-Восточное Забайкалье). Чита: Изд-во Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2010.
5. Инженерная геология СССР. Т. 3: Восточная Сибирь / под ред. Г.А. Голодковской. М.: Изд-во Московского университета, 1977. 655 с.
6. Лабораторные работы по грунтоведению / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 519 с.
7. Метасоматизм и метасоматические породы / под ред. В.А. Жарикова, В.Л. Русикова. М.: Научный мир, 1998. 492 с.
8. Петрография и петрология магматических, метаморфических и метасоматических горных пород / под ред. В.С. Попова, О.А. Богатикова. М.: Логос, 2001. 768 с.
9. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М.: Недра, 1970. 164 с.
10. Спиридонов А.М. Золотоносные рудно-магматические системы Забайкалья. Новосибирск: Гео, 2006. 291 с.



ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ФОРМИРОВАНИЯ СЕЛЕЙ

GEODYNAMIC POTENTIAL OF MUDFLOW FORMATION

РЕВЗОН А.Л.

Заведующий отделом Научно-исследовательского института транспортного строительства (ОАО ЦНИИС), д.г.н., RevzonAL@tsniis.com

REVZON A.L.

The head of a department of the Research Institute of Transport Construction (TsNIIS OJSC), doctor of science (Geography), RevzonAL@tsniis.com

Ключевые слова:

геодинамический потенциал; селевые потоки; склоновые процессы; оползни; обвалы; осыпи; каменные глетчеры; аэрокосмическое зондирование; картографирование; мониторинг.

Key words:

geodynamic potential; mudflows; slope processes; landslides; landfalls; debris streams; rock glaciers; aerospace sensing; mapping; monitoring.

Аннотация

В статье рассматриваются возможности выявления, оценки интенсивности и активности, картографирования и мониторинга склоновых процессов в горных районах как геодинамического потенциала формирования твердой составляющей селевых потоков. В качестве информационной основы для решения этих задач используются методы аэрокосмического зондирования. Рассмотрен и проиллюстрирован многолетний опыт исследований в данном направлении в горных районах Кавказа, Памиро-Алая, Тянь-Шаня, Прибайкалья, Сихотэ-Алиня.

Введение

К результатам исследований закономерностей развития селей в отношении механизма и морфологии этих многокомпонентных по генезису разрушительных процессов, накопленным более чем за 50 лет, прошедших со времен деятельности одного из основоположников отечественного селеведения С.М. Флейшмана [7], мало что можно добавить. В настоящее время вклад в развитие селеведения идет по пути совершенствования инструментария исследований, позволяющего измерять, классифицировать, рассчитывать, моделировать и прогнозировать формирование и последствия этих процессов с учетом новых данных о причинно-следственных связях селеобразования, параметрах современных селевых потоков на основе современных методов получения и обработки информации и совершенствования численных решений [8, 9].

Наиболее информативной системой получения данных о закономерностях зарождения и формирования селевых потоков является аэрокосмическое зондирование, выполняемое с различных видов носителей съемочной аппаратуры в широком диапазоне электромагнитного спектра. Именно благодаря этой системе стало возможным проследить, как идет формирование селя от верховий горной долины до устьевого выноса, что в условиях многоярусного сильно расчлененного горного рельефа при использовании других методов не столь информативно (рис. 1, 2). Об этом говорит наличие в настоящее время соответствующих карт практически на все селеопасные районы Рос-

Abstract

The article deals with possibilities of revealing, estimating the intensity and activity, mapping and monitoring of mountain slope processes as geodynamic potential of solid component formation of mudflows. Aerospace sensing methods are used as the infobase for solution of these tasks. The long-term experience of investigations in this direction in mountain areas of the Caucasus, Pamir-Alay, Tien-Shan, Baikal region, Sikhote-Alin is considered and illustrated.



сии, при составлении которых применялись материалы аэрокосмических съемок. Однако анализ подобных карт (в основном мелко- и среднemasштабных) позволяет заключить, что взаимодействие различных эндо- и экзогенных склоновых процессов при формировании твердой составляющей селевых потоков отражается на них недостаточно полно, без фиксации конкретных очагов склоновой денудации, в т.ч. сейсмодислокаций, без их классификации и оценки интенсивности развития склоновых процессов (динамичности, относительного возраста, механизма и направленности смещений горных пород).

Изучая селевые процессы, мы должны исследовать не только морфологию селевых долин и их водный режим, но и все процессы, благодаря развитию которых горные долины пополняются рыхлым и обломочным материалом, — сейсмотектонические, ледниково-гляциальные, возникновение обвалов, осыпей, оползней и их комбинаторику, причем в динамике — по методологии мониторинга в режиме реального времени. Поэтому ис-

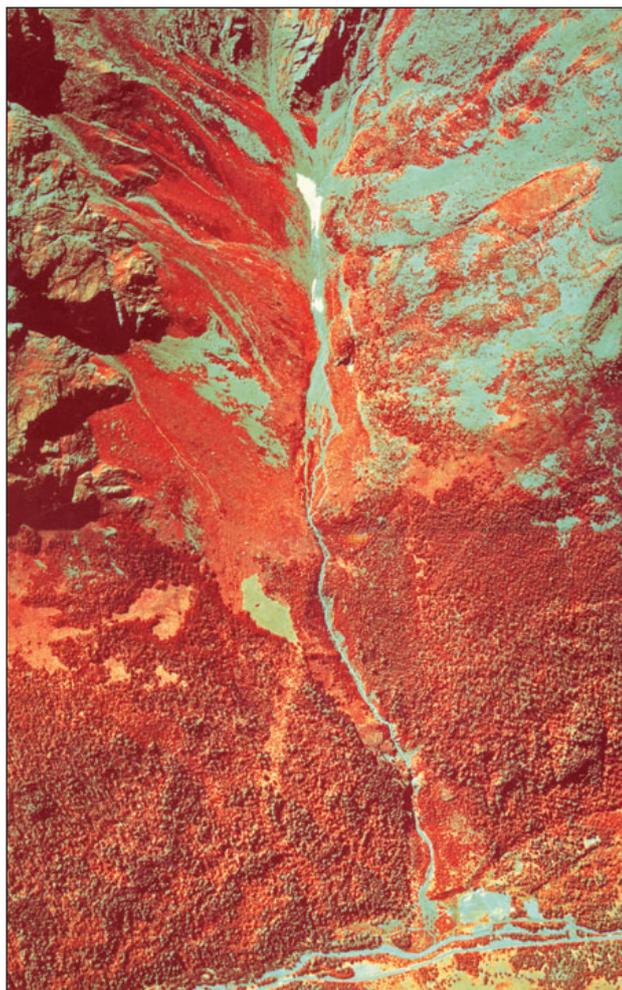


Рис. 1. Фрагмент многозонального аэроснимка очага формирования селей в Баксанской долине в Приэльбрусье. На снимке прослеживаются все элементы, формирующие селеносную долину от верховьев до устья, — водосборная воронка, канал стока, конус выноса. Источниками пополнения твердой составляющей селевого потока являются оползни-потоки, осыпи и обвалы

следования по оценке селеопасности и селевой активности должны опираться на комплексный геодинамический анализ селевого бассейна и иметь в качестве одного из результатов соответствующую оценку эндо- и экзодинамического потенциала изучаемого района.

Геодинамический потенциал — фактор формирования селей

В настоящее время общеизвестно, что очень часто склоновые смещения масс горных пород катастрофического характера развиваются парагенетически, с их переходом из одного состояния в другое в зависимости от сочетания ряда факторов — степени тектонической раздробленности и сейсмической активности горных массивов, состава и обводненности горных пород, морфометрии склонов.

Опубликованные данные о характеристиках ряда землетрясений, произошедших в последнее десятилетие, в том числе Вэньчуаньского землетрясения 2008 г. в Китае [1], свидетельствуют о том, что, начинаясь с сейсмотектонических дислокаций (рис. 3, 4), смещения сейсмогравитационного характера в виде горных обвалов и оползней, поставляя обломочный и рыхлый материал в речные



Рис. 2. Фрагмент многозонального аэрофотоснимка селеопасного участка в Приэльбрусье: 1 — автомобильная трасса после ликвидации деформаций, произошедших вследствие прохождения селевого потока; 2 — свежий (возрастом 1 год) селевой конус выноса; 3 — давний (до 15 лет) селевой конус выноса; 4 — сельскохозяйственные угодья на древнем (до 100 лет) конусе выноса

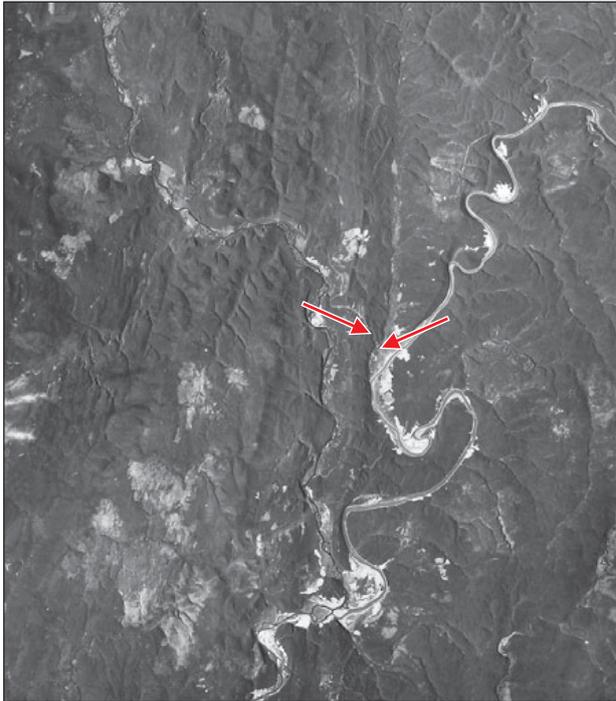


Рис. 3. Фрагмент космического фотоснимка Северного Прибайкалья. Хорошо выражено меридиональное простиране системы разломов, контролирующее строение продольного профиля крупных рек. Разломы играют роль ловушек для пересекающих их участков долин с очагами развития эрозийных, гравитационных и карстовых процессов. Красные стрелки фиксируют меридиональный разлом, играющий роль ловушки для участка долины реки, изменившей свой продольный профиль под влиянием тектонически раздробленных горных пород

долины, провоцируют формирование мощных селевых потоков. Ряд оползней сложного типа, имея в головной части блоковую структуру сместившихся масс, а в центральной — грядовую, в ниж-

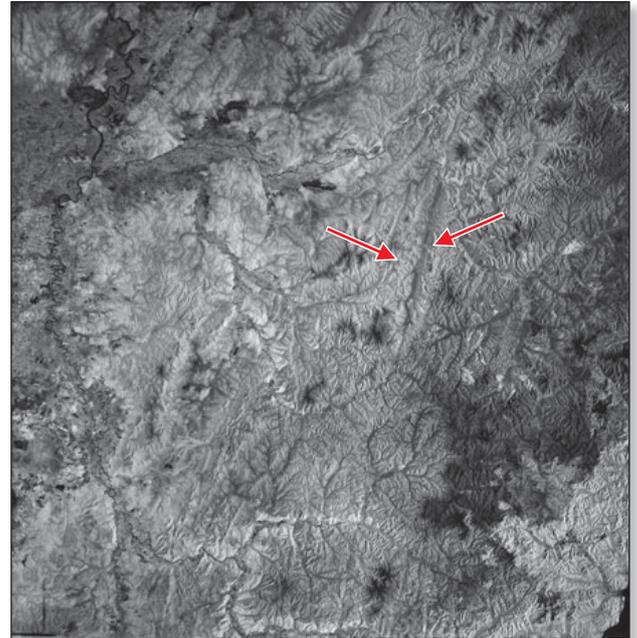


Рис. 4. Фрагмент космического фотоснимка горного массива Сихотэ-Алинь. Региональный разлом меридионального простираня — зона развития обвально-осыпных процессов. Красные стрелки указывают на региональный разлом меридионального простираня, подчеркиваемый локализацией в его осевой зоне линейно ориентированных обвально-осыпных очагов



Рис. 5. Активный оползень-поток в долине реки Аргун в Северной Осетии. Движущийся оползень-поток, развитый по всему склону, имеет в плане характерную ложкообразную форму. На его теле прослеживаются участки с различными фазами активизации по возрасту и типу смещения



ней (языковой) — приобретают структуру потоков, по существу, селевых. Причем они часто занимают 2/3 длины горного склона. Такое явление характерно для оползней Кавказа, Тянь-Шаня, предгорий Памира, Сахалина (рис. 5, 6).

Унаследованное развитие оползней и обвалов в пределах оползневых и обвально-осыпных очагов (часто древних по относительному возрасту, приуроченных к зонам активных обводненных разломов, часто к узлам их пересечения), характеризующееся постоянной активизацией в результате небольших по амплитудам сейсмических подвижек и сезонных климатических аномалий, является характерной закономерностью, с которой напрямую связана повторяемость селей с большими объемами селевых выносов. В процессе исследований на Кавказе, Сихотэ-Алине, в пределах Чаткало-Кураминской горной системы и хребта Каратау автор документировал десятки оползневых и обвально-осыпных очагов, линейно ориентированных вдоль осевых зон региональных разломов, с признаками разновозрастной активности именно такого типа (рис. 7–9). В настоящее время это общеизвестно, хотя впервые указанная закономерность была установлена и обоснована именно по данным дешифрирования материалов аэрокосмических съемок в начале 1980-х гг. [5].



Рис. 6. Фрагмент многозонального аэроснимка предгорий хребта Каратау в Таджикистане. Оползни в лессовидных суглинистых толщах: 1 — начальные стадии оползней, формирование трещин-заколов, в ряде случаев обработанных овражной эрозией; 2 — сформировавшиеся оползневые цирки со сложной структурой сместившихся масс (головная часть — блоки, центральная — поперечные гряды, языковая — натечная структура)

Еще один фактор, определяющий геодинамический потенциал формирования селей, связан с динамикой каменных глетчеров. Приуроченные к днищам долин, они по своей форме похожи на оползни-потоки, отличаясь внешне по размерам, консистенции и составу смешанного материала. Каменные глетчеры достигают в длину 1 км. Их ширина в головной части может составлять 100 м, в языковой — несколько десятков метров. Толщина каменных глетчеров в отдельных случаях достигает 50 м. Скорость их смещения на Кавказе составляет десятки метров в год. При своем движении они не только «выпахивают» днище долины, но и резко подрезают склоны, ослабляя их устойчивость, что способствует активизации обвальных, осыпных и солифлюкционно-оползневых процессов. При этом язык глетчера, подобно языку сползающего ледника, выполняет функции бульдозера и ковша экскаватора, формируя на своем пути отрицательные и положительные формы рельефа, сложенные грубообломочным несортирован-

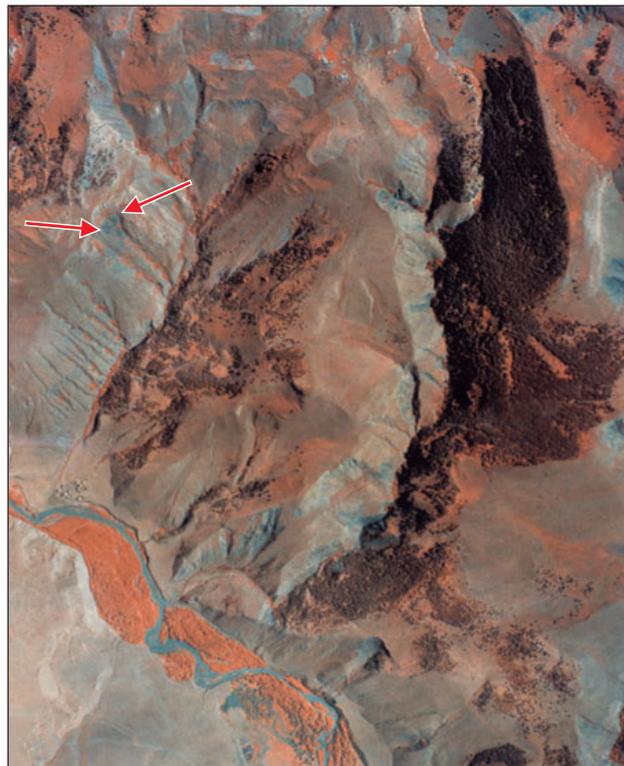


Рис. 7. Фрагмент многозонального аэрофотоснимка участка горного массива на Северном Кавказе. Формирование оползневых процессов. Голубые пятна на склонах связаны с участками повышенного увлажнения полускальных пород палеогена за счет выходов на поверхность или близкого залегания к ней подземных вод. Эти участки рассматриваются как потенциально оползнеопасные. В таких обводненных участках, переработанных эрозией, имеющих унаследованный характер в пределах давних оползневых очагов (левый верхний угол снимка), в периоды ближайших ливневых дождей прогнозируются новые оползневые смещения. Красные стрелки фиксируют обводненную зону аргиллитовых толщ в пределах унаследованного оползневого очага

ным и легко размываемым селевыми потоками материалом (рис. 10–11).

Рассмотренные выше источники пополнения твердой составляющей селевых потоков определяют их геодинамический потенциал, который благодаря современным программным средствам обработки аэрокосмической информации может быть рассчитан с позиций прогноза объемов обломочного и рыхлого материала, поступающего в селевые долины.

Картографирование геодинамического потенциала как информационная основа для расчетов и прогнозирования объемов твердой составляющей селевых потоков

За последние 25 лет накоплен большой опыт применения современной многоспектральной аэрокосмической информации в качестве информационной основы для обеспечения разномасштабного картографирования селевой опасности на уровнях типизации селевых бассейнов, выделения и классификации селевых очагов по типам питания очагов зарождения, частоте и повторяемости селей, морфологии селевых долин [2–4, 6].

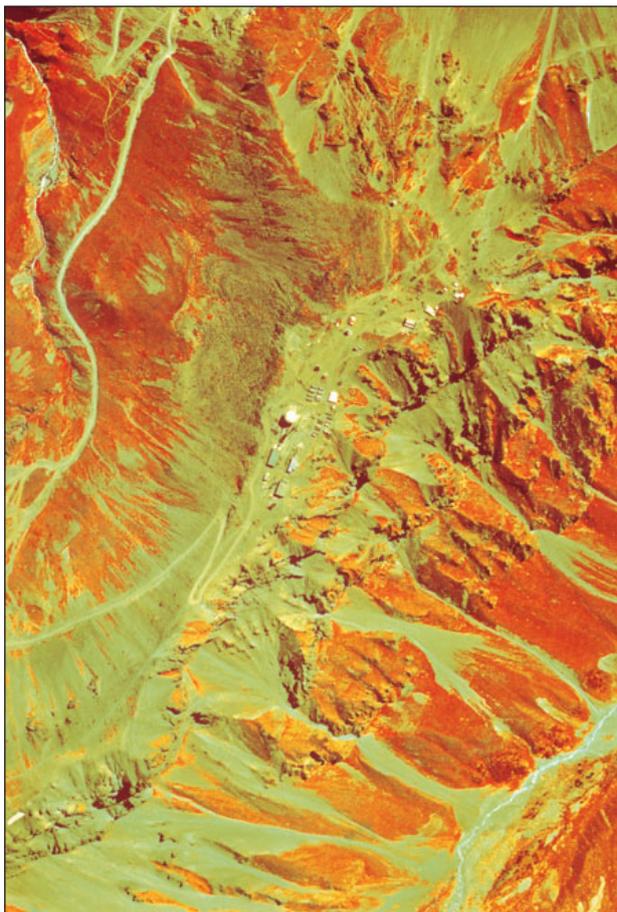


Рис. 8. Фрагмент многозонального аэроснимка участка проявления осыпных процессов в Приэльбрусье. Интенсивное осыпеобразование в разнообразных формах: конусы выноса, шлейфы, пятна — источники пополнения твердой составляющей селевых потоков

Вместе с тем возможности детальной оценки геодинамического потенциала формирования селей в системе их исследований и картографирования их опасности развиваются недостаточно полно. Картографирование необходимо вывести на уровень каждого оползневого или обвально-осыпного очага с детальной оценкой потенциальной активности, стадийности, направленности и объемов возможных смещений, с точным определением границ и площадей, с отражением на картах причинно-следственных связей склоновой геодинамики (рис. 12).

Такие карты делались в 1970–1980-х гг., опыт их составления многообразен [10, 11]. Количественная оценка указанных выше параметров осуществлялась с помощью характерного для того времени инструментария (стереофотограмметрических приборов, планиметров, курвиметров). В наши дни использование современных программных средств позволяет осуществлять подобные измерения значительно эффективнее по временным затратам и точности, что обеспечивает оперативное получение цифровых данных в автоматизированном режиме для прогнозирования объемов сезонного пополнения твердой составляющей селевых потоков и масштабов возможных разрушений от их прохождения.

Возможность оценки временных изменений геодинамического состояния горных массивов в пределах селевых бассейнов, селевых долин и их морфологических элементов обеспечивается наличием банков данных аэрокосмической информации, в первую очередь для районов Кавказа, горных массивов Восточной Сибири и Дальнего Востока.

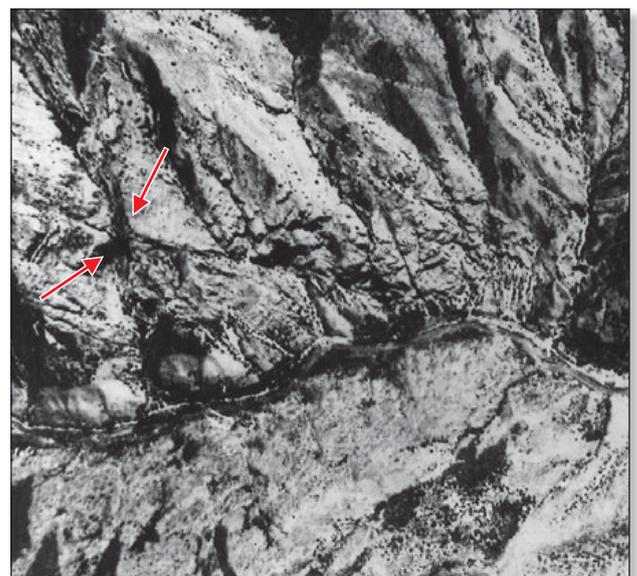


Рис. 9. Фрагмент космического фотоснимка узла пересечения разнонаправленных активных разломов на Кавказе. В этом узле локализованы очаги обвалов и оползней блокового типа. Красные стрелки указывают на приуроченность крупного оползня блокового типа к узлу пересечения разнонаправленных разломов



Мониторинг геодинамической ситуации в селеопасных районах

В настоящее время геодинамические исследования фрагментарно выполняются лишь для отдельных селевых долин в рамках конкретных заказов бизнес-структур. Региональный геодинамический мониторинг горных территорий в России не осуществляется.

Вместе с тем в 1970–1980-х гг. в пределах ряда горных районов Советского Союза силами организаций Мингео СССР и отраслевых министерств и ведомств (Минтрансстроя, Минводхоза, Госстроя СССР, ГУГК при СМ СССР) осуществлялись целенаправленные планомерные исследования по региональному и локальному развитию экзогенных процессов (для обоснования крупных строительных проектов) на Кавказе, в горных районах зоны освоения БАМ, на Памиро-Алае, Тянь-Шане, в горах Дальнего Востока — сначала для изучения их развития на момент исследования, а затем и для развития методологии мониторинга. Их результатом явился соответствующий комплекс карт для оценки интенсивности развития оползней, селей, обвалов

и осыпей, а также лавин в масштабах 1:500 000–1:200 000, а по ряду районов — и в более крупных. На картах фиксировалось состояние каждого локализованного очага проявления изучаемого процесса с отражением его площадных параметров, направленности склонового смещения, его механизма, морфологии и относительного возраста, повторяемости смещений. Эти материалы хранятся в соответствующих фондах и могут быть использованы в качестве стартовой основы для организации нового этапа мониторинга с целью обновления данных, оценки динамики и уточнения геодинамической ситуации. После произошедших глобальных изменений сейсмотектонической и климатической ситуации это чрезвычайно актуально, в т.ч. для уточнения прогнозов селеопасности. Для ряда районов Краснодарского и Ставропольского краев, в частности для зоны строительства объектов предстоящей Олимпиады-2014, решение этой задачи весьма важно в рамках мониторинга состояния природно-технической системы Большого Сочи в связи с новым импульсом в развитии его инфраструктуры.

Выводы

- 1) В решении проблемы совершенствования прогнозов селевой активности значительные резер-

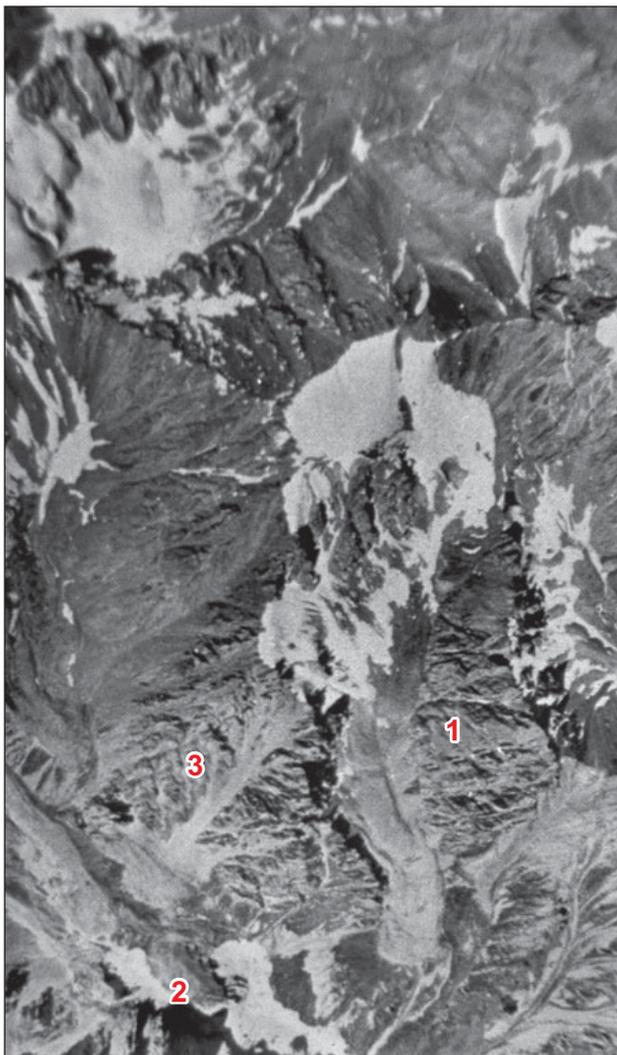


Рис. 10. Фрагмент космического фотоснимка высокогорного Кавказа. Очаги формирования лавин и селей: 1 — сползающие каменные глетчеры; 2 — снежники в каровых цирках; 3 — следы схода лавин

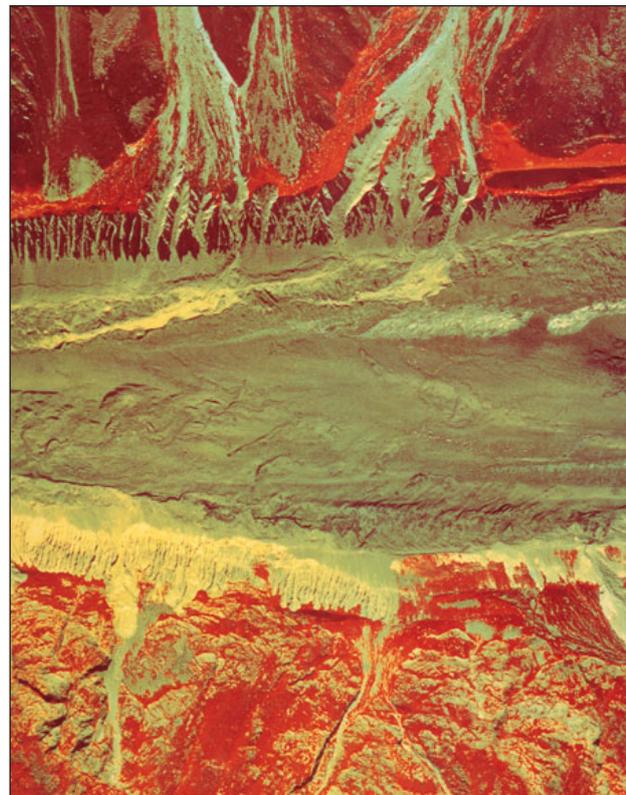


Рис. 11. Фрагмент многозонального аэроснимка участка движущегося каменного глетчера в Приэльбрусье. При движении вниз по склону глетчер выпахивает себе долину, подрезая склоны гор, нарушая их устойчивость и провоцируя активизацию склоновых процессов. Его тело деформируется по борту южной экспозиции термоэрозионными и солифлюкционно-оползневыми процессами

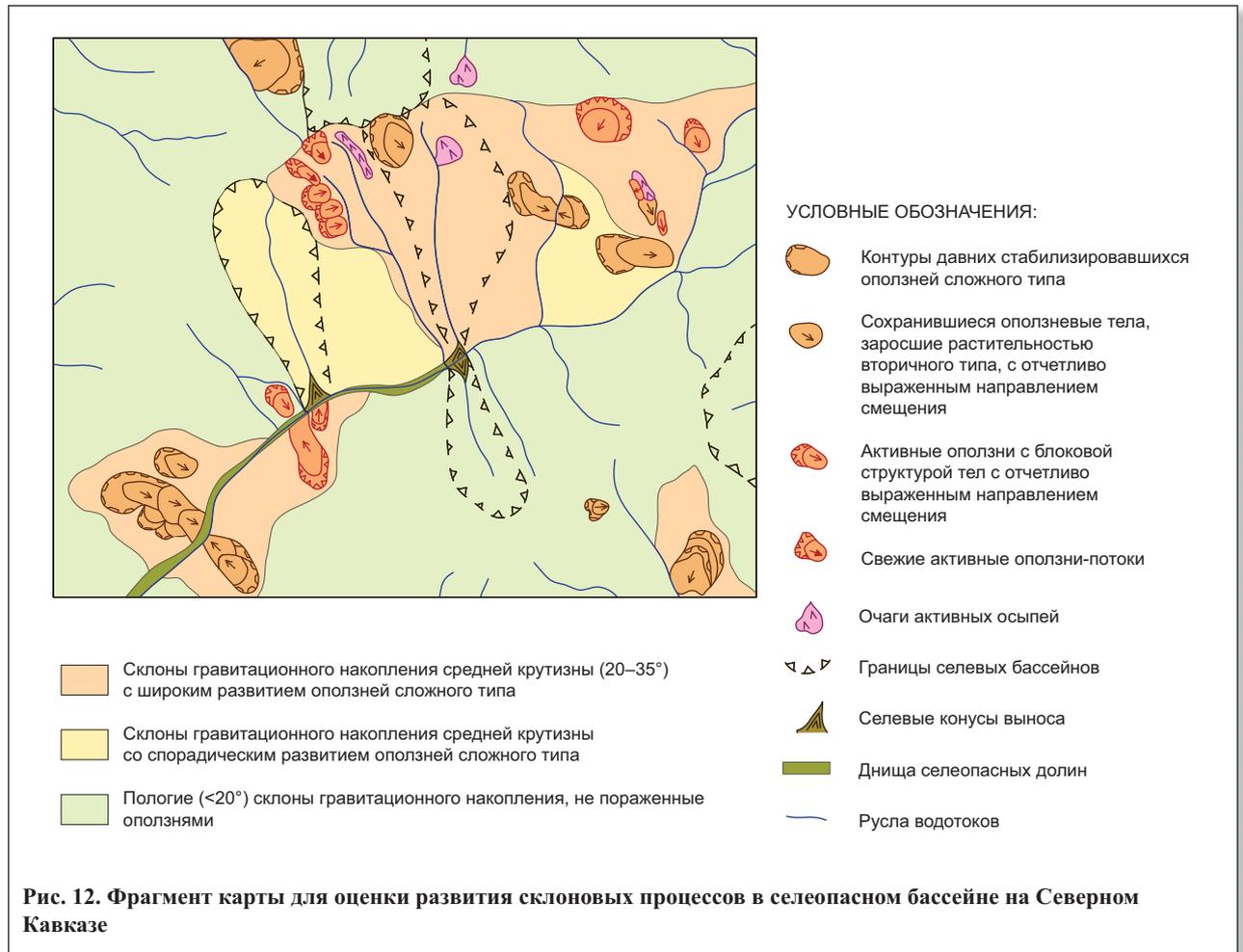


Рис. 12. Фрагмент карты для оценки развития склоновых процессов в селеопасном бассейне на Северном Кавказе

вы связаны с оценкой геодинамического потенциала формирования твердой составляющей селевых потоков.

- 2) Детальное изучение (выделение, типизация, морфометрические измерения, оценка интенсивности и стадийности, исследование причинно-следственных связей) и картографирование сейсмодислокаций, оползневых, обвально-осыпных, нивально-гляциальных очагов в пределах селеопасных районов на основе применения многоспектральной аэрокосмической информации обеспечит информационную основу для расчетов объе-

мов обломочных и рыхлых пород, формирующих твердую составляющую селевых потоков.

- 3) Необходимо возобновить исследования в данном направлении, приостановленные в начале 1990-х гг., и осуществлять их по методологии мониторинга, учитывая, что стартовая основа в виде комплекса соответствующих карт по ряду селеопасных районов России сохранилась в фондах организаций, проводивших эти исследования ранее, а получение новой космической информации для их обновления в настоящее время не является проблематичным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вэй Ю. Цз., Ду С.Л., Тао Л. Цз. Основные характеристики Вэньчуаньского землетрясения и его влияние на опасные геологические процессы // Геориск. 2010. № 1. С. 6–11.
2. Грицык В.И., Ревзон А.Л. Аэрокосмическая геоинформация для проектирования, строительства и реконструкции железных дорог. М.: Изд-во ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. 79 с.
3. Ревзон А.Л. Картографирование состояний геотехнических систем. М.: Недра, 1992. 223 с.
4. Ревзон А.Л. Природа и сооружения в критических ситуациях. Дистанционный анализ. М.: Триада, 2001. 207 с.
5. Ревзон А.Л., Юровский Б.Л. Космическая информация и прогнозирование экзогенных процессов // Исследование Земли из космоса. 1983. № 4. С. 47–53.
6. Садов А.В. Аэрометоды изучения селей. М.: Недра, 1972. 148 с.
7. Флейшман С.М. Сели. М.: Гидрометеиздат, 1978. 312 с.
8. Черноморец С.С. Селевые очаги до и после катастроф. М.: Научный мир, 2005. 180 с.
9. Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Запорожченко Э.В. Россия — СССР — Россия: селевые потоки прежде и теперь. Прикладные вопросы географии и геологии горных областей Альпийско-Гималайского пояса // Материалы конференции, посвященной 90-летию профессора С.П. Бальяна. Ереван: Изд-во ЕГУ, 2007. С. 107–112.
10. Шеко А.И. Закономерности формирования селей. М.: Недра, 1980. 296 с.
11. Шеко А.И., Круподеров В.С. Оценка опасности и риска экзогенных геологических процессов // Геоэкология. 1994. № 3. С. 11–21.



РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ РАЙОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ВЬЕТНАМА

REGIONAL FORECAST OF LANDSLIDE HAZARD IN THE REGION OF THE HALONG AND CAM PHA CITIES IN THE NORTH-EAST OF VIETNAM

ЗЫОНГ М.Х.

Аспирант Российского государственного геологоразведочного университета (МГРИ-РГГРУ) им. С. Орджоникидзе, г. Москва, duongmanhhung99@yahoo.com.vn

ФОМЕНКО И.К.

Докторант МГРИ-РГГРУ, к.г.-м.н., г. Москва, ifolga@gmail.com

ПЕНДИН В.В.

Заведующий кафедрой инженерной геологии и декан гидрогеологического факультета МГРИ-РГГРУ, д.г.-м.н., профессор, г. Москва, pendin@yandex.ru

DUONG M.H.

A postgraduate student of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, Moscow, duongmanhhung99@yahoo.com.vn

FOMENKO I.K.

A doctoral candidate of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, candidate of science (Geology and Mineralogy), Moscow, ifolga@gmail.com

PENDIN V.V.

The head of the engineering geology department and the dean of the hydrogeology faculty of Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University, doctor of science (Geology and Mineralogy), professor, Moscow, pendin@yandex.ru

Ключевые слова:

оползень; оползневая опасность; количественный региональный прогноз; оползневые процессы; восприимчивость территории; дистанционное зондирование; ГИС-технологии; индекс стабильности склона.

Key words:

landslide; landslide hazard; quantitative regional forecast; landslide processes; susceptibility of the territory; remote sensing; GIS technologies; slope stability index.

Аннотация

Для оценки региональной оползневой опасности для района Ха Лонг — Кам Фа на северо-востоке Вьетнама авторами статьи применены методы, базирующиеся на ГИС-технологиях. В качестве информационной основы для прогнозирования развития оползневых процессов на этой территории использованы данные дистанционного зондирования, дополненные материалами полевых работ. Установлено, что самой высокой восприимчивостью к оползневому процессам обладают породы осадочного комплекса триасового возраста (толща Хон-Гай) и четвертичные отложения. Полученная оценка региональной оползневой опасности имеет высокую степень надежности и может быть рекомендована к применению при разработке планов комплексного освоения исследованной территории.

ВВЕДЕНИЕ

Регион Ха Лонг — Кам Фа в силу своего географического расположения на северо-востоке Вьетнама является чрезвычайно выгодной в экономическом плане территорией: с одной стороны, это давно известный туристический район, с другой — это центр угольной промышленности страны. Однако его успешное освоение ограничивается сложными инженерно-геологическими условиями территории, в первую очередь активными проявлениями оползневых процессов. По этой причине достоверный прогноз оползневой опасности чрезвычайно важен для устойчивого развития данного региона.

Оценка степени риска активизации оползней — одна из важнейших задач инженерно-геологических исследований. Существующие методики этой оценки (А.П. Павлова, Ф.П. Саваренского, Н.Н. Маслова, А.М. Дранникова, И.В. Попова, Г.С. Золотарева, Г.Л. Фисенко, М.К. Разаевой, К.А. Гулакяна, В.В. Кюнтцеля, Е.П. Емельяновой, К. Терцаги, С. Шарпа, Д. Варнеса [1, 3, 5, 8]) можно разделить на качественные и количественные.

При разработке планов комплексного развития рассматриваемого района особое значение приобретает количественный региональный прогноз оползневой опасности.

Региональная количественная оценка устойчивости склонов выполняется на основе деления изучаемой территории на группы участков (зон), различающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния на него инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обя-

Abstract

The authors of the article apply methods based on GIS technologies to assess the regional landslide hazard of the region of Ha Long — Cam Pha in the north-east of Vietnam. To forecast landslide process development in this area they use remote sensing data supplemented by field work materials as an information basis. The authors find out that the Triassic sedimentary rocks (the Hon Gai formation) and Quaternary sediments have the highest susceptibility to landslide processes. The obtained assessment of the regional landslide hazard has high reliability degree and can be recommended to be used for designing complex development plans of the territory.



зательном порядке должны учитываться: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающие склоны; интенсивность основных природных оползнеобразующих процессов; степень обводненности и крутизна склонов [8].

При классическом подходе региональная оценка устойчивости склонов выполняется путем определения показателей степени развития оползней по результатам инженерно-геологической съемки [1].

Целью данного исследования являлось получение регионального прогноза оползневой опасности региона Ха Лонг — Кам Фа (северо-восточной части Вьетнама) с использованием современных методик. Для достижения данной цели решались следующие задачи: (1) обоснование и апробация методики региональной оценки оползневой опасности по восприимчивости исследуемой территории к оползневым процессам; (2) использование метода районирования территории по индексу стабильности с целью регионального прогноза оползневой опасности для рассматриваемого района.

В качестве исходных данных для оценки оползневой опасности были использованы данные дистанционного зондирования региона Ха Лонг — Кам Фа в сочетании с материалами традиционных полевых исследований.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время известно достаточно большое количество методических приемов регионального прогнозирования оползневых процессов [1]. Наибольшее применение для решения этой задачи получили методы оползневого потенциала [3] и регрессионного анализа [8], имеющие статистическую основу.

В развитие существующих методик оценки и прогноза региональной оползневой опасности авторами данной статьи были использованы современные подходы, базирующиеся на ГИС-технологиях, — по восприимчивости территории к оползневым процессам и по индексу стабильности.

Метод регионального прогноза оползневой опасности по восприимчивости территории к оползневым процессам

Оползни — вторичные экзогенные геологические процессы (ЭГП), т.е. процессы, условия которых подготовлены первичными ЭГП [1]. Они являются результатами взаимодействий между различными компонентами геологической среды вследствие их изменений под влиянием внешних воздействий.

Для определения восприимчивости территории к оползневым процессам следует определить основные факторы, обуславливающие их активизацию. Для региона Ха Лонг — Кам Фа на основе данных дистанционного зондирования были выбраны следующие основные факторы:

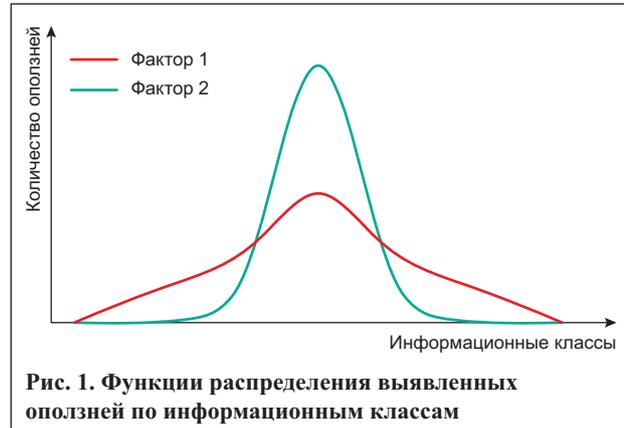


Рис. 1. Функции распределения выявленных оползней по информационным классам

- геологическое строение;
- мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания);
- крутизна склонов;
- тип ландшафта.

Основным критерием для того, чтобы считать тот или иной фактор оползнеопасным, является форма функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора. В качестве примера на рис. 1 показаны две возможные функции такого распределения. Из этого рисунка видно, что фактор 1, имеющий большую дисперсию, является менее оползнеопасным по сравнению с фактором 2. Отметим, что кривая распределения строится по количеству проявлений оползневых процессов в каждом классе фактора (например, в факторе «геологическое строение» выделено 6 классов, в каждом из которых выявлено определенное количество проявлений оползневых процессов).

Стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора является основой для определения его веса w_j (д.ед.), при этом веса всех (n) оцениваемых факторов нормируются таким образом, чтобы их сумма равнялась 1:

$$w_j = 1 - \frac{\sigma_j}{\sum_{j=1}^n \sigma_j}, \quad (1)$$

где σ_j — стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам j -го фактора.

В таблице 1 приведены веса w_j оползнеопасных факторов для региона Ха Лонг — Кам Фа. В свою очередь, каждый из этих факторов представлен информационными классами (табл. 2).

Веса x_{ij} информационных классов нормируются относительно количества выявленных оползней таким образом, чтобы их сумма для каждого фактора составляла 1:

$$x_{ij} = \frac{\text{количество выявленных активных оползней в данном информационном классе}}{\text{количество выявленных активных оползней на всей исследуемой территории}}, \quad (2)$$

Таблица 1

Веса факторов, существенно влияющих на развитие оползней в регионе Ха Лонг — Кам Фа	
Фактор	Вес w_j , д.ед.
Геологическое строение	0,337
Мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания)	0,230
Крутизна склонов	0,254
Тип ландшафта	0,180
Сумма	1,000

Методика районирования территории по восприимчивости к оползневым процессам заключается в следующем. Для каждого элементарного участка рассматриваемой территории рассчитывается интегрированный показатель H по следующей формуле:

$$H = \sum_{i,j=1}^n w_j x_{ij}, \quad (3)$$

где H — интегрированный показатель восприимчивости к оползневым процессам, безразм.; w_j — вес фактора j , д.ед.; x_{ij} — вес класса i фактора j , д.ед.

При построении итоговой карты восприимчивости территории к оползневым процессам важным моментом является выбор разумных уровней классификационного показателя H . Эта задача решается путем подбора оптимальной (с учетом выявленных оползнеопасных факторов для данной территории) классификационной шкалы.

Метод регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности (SINMAP)

Метод регионального прогноза по восприимчивости территории к оползневым процессам позволяет выполнить ее районирование на основе факторов оползнеобразования. Однако он не позволяет получить количественную оценку

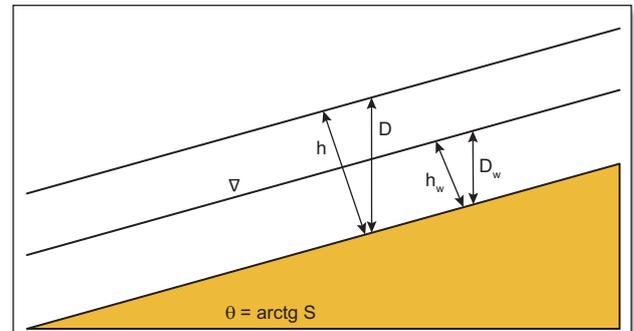


Рис. 2. Схема модели бесконечной устойчивости склона: D — мощность слоя грунтов по вертикали, м; D_w — глубина залегания уровня грунтовых вод по вертикали, м; h — истинная мощность слоя, м, $h = D \cos \theta$, м; h_w — мощность водоносного слоя, м, $h_w = D_w \cos \theta$, м; θ — угол наклона склона, град.; S — градиент падения склона, д.ед., ∇ — отметка уровня грунтовых вод

оползнеопасности в виде такого общепризнанного критерия, как коэффициент устойчивости склона (F_s).

С целью регионального прогноза оползнеопасности по параметру, близкому по сути к коэффициенту устойчивости, авторы использовали метод районирования территории по индексу стабильности.

Данный метод, или картирование по индексу стабильности (SINMAP — Stability Index Mapping), был разработан в Университете штата Юта (США) в сотрудничестве с консалтинговой фирмой Terratech Consulting организациями C.N. Godwin Fluvial System Consulting, U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station (США) и Forest Renewal British Columbia (Канада). В его основе лежит расчет устойчивости склона по схеме бесконечного откоса с учетом влияния подземных вод, которая определяет коэффициент устойчивости склона как отношение между удерживающими и сдвигающими силами согласно следующей зависимости [15]:

$$F_s = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho g (D - D_w) + g (\rho - \rho_w) D_w] \operatorname{tg} \varphi}{D \rho g \sin \theta \cos \theta}, \quad (4)$$

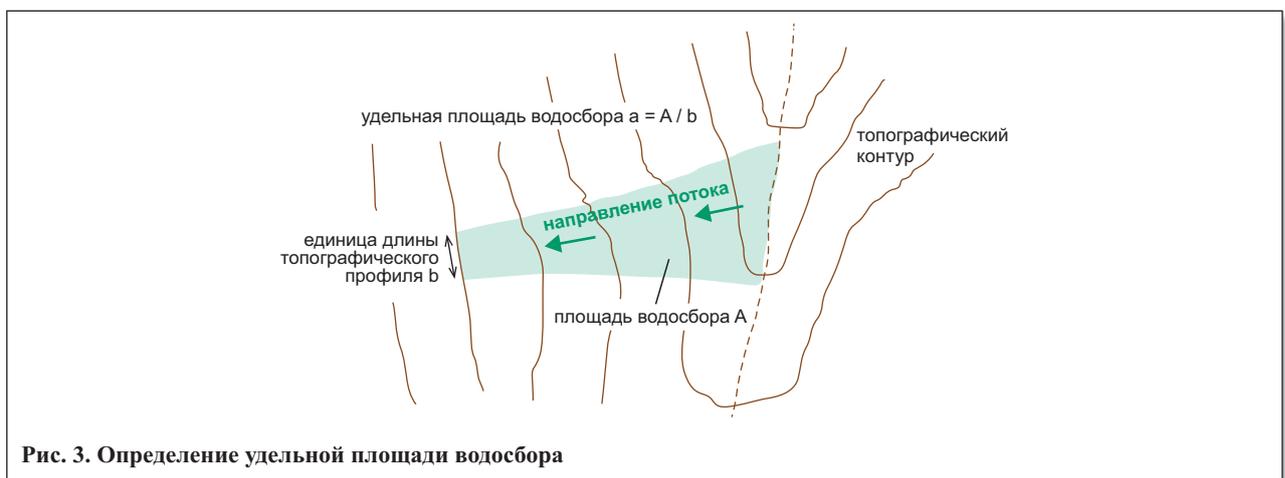


Рис. 3. Определение удельной площади водосбора



где F_s — коэффициент устойчивости склона, безразм.; C_r — вегетативное сцепление, Н/м²; C_s — сцепление грунтов, Н/м²; θ — угол наклона склона, град.; ρ — плотность грунтов, кг/м³; ρ_w — плотность воды, кг/м³; g — ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²; D — мощность слоя грунта по вертикали, м; D_w — мощность водоносного слоя по вертикали, м; φ — угол внутреннего трения грунтов, град.

На рисунке 2 показана геометрия склона, предполагаемая в уравнении (2).

Зависимость (2) может быть приведена к следующему виду:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta[1 - Wr]tg\varphi}{\sin\theta}, \quad (5)$$

где C — комбинированное сцепление, безразм., $C = (C_r + C_s) / (h \rho g)$, где $h = D \cos\theta$, м; W — от-

Таблица 2

Разделение основных факторов, обуславливающих активизацию оползневых процессов в районе Ха Лонг — Кам Фа, на информационные классы и вес этих классов			
Фактор	Класс	Количество выявленных активных оползней, шт.	Вес класса x_{ij} , д.ед.
Геологическое строение	Четвертичная система (Q)	8	0,157
	Толща Тиеу Гиао (N2 tg)	0	0,000
	Толща Ха Сои (J1-2 hc)	0	0,000
	Толща Хон Гай (T3n-r hg)	43	0,843
	Толща Бай Чай (P3 bc)	0	0,000
	Толща Бак Сон (C-P3 bs)	0	0,000
	Сумма	51	1,000
Мощность потенциально оползнеопасных отложений (для скальных и полускальных грунтов — мощность коры выветривания), м	2,0–3,0		
	0	0,000	
	3,0–4,0	7	0,137
	4,0–5,0	10	0,196
	5,0–5,5	34	0,667
	5,5–6,0	0	0,000
	Сумма	51	1,000
Крутизна склонов, град.	0–3	0	0,000
	3–6	5	0,098
	6–15	17	0,333
	15–30	29	0,569
	30–45	0	0,000
	> 45	0	0,000
	Сумма	51	1,000
Тип ландшафта	Рисовые поля	0	0,000
	Луговая растительность	0	0,000
	Естественные густые леса	21	0,412
	Озера	0	0,000
	Лесопосадки	0	0,000
	Селитебные зоны	1	0,020
	Редкие леса	25	0,490
	Кустарники	0	0,000
	Территории разработки угольных месторождений	4	0,078
	Болота	0	0,000
	Рыбохозяйственные объекты территории	0	0,000
	Обнажения скальных грунтов	0	0,000
	Песчаные отмели, пляжи	0	0,000
	Сумма	51	1,000

носительная влажность, $W = D_w/D = h_w/h$, д.ед.; h — истинная мощность слоя, м; h_w — мощность водоносного слоя, м, $h_w = D_w \cos\theta$; r — отношение плотности воды ρ_w к плотности грунтов ρ , безразм., то есть $r = \rho_w / \rho$.

Из практики инженерно-геологических исследований известно, что влажность грунтов тесно связана с гидрологическими особенностями территории. Используя гидрологический критерий, авторы метода SINMAP [15] предлагают определять относительную влажность W (д.ед.) по следующей формуле:

$$W = \min\left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right), \quad (6)$$

где $T = K_m$ — коэффициент водопроницаемости грунтов, м²/сут; K — коэффициент фильтрации, м/сут; m — мощность водоносного слоя, м; $a = A/b$ — удельная площадь водосбора, рассчитываемая на единицу длины топографического профиля, м (см. рис. 3); R — коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут; рассчитываемый по формуле:

$$R = (I - E_T) K_{sr}, \quad (7)$$

где K_{sr} — коэффициент поверхностного стока, безразм., определяемый как отношение объема поверхностного стока на водосборе при выпадении осадков к общему объему выпавших осадков; I — показатель интенсивности осадков, м/сут; E_T — показатель интенсивности испарения, м/сут.

Объединяя расчет устойчивости склона по схеме бесконечного откоса (5) с гидрологическим подходом (6), получим следующую зависимость:

$$F_s = \frac{C + \cos\theta \left[1 - \min\left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right) r \right] \operatorname{tg}\varphi}{\sin\theta}. \quad (8)$$

При прогнозировании оползневой опасности важно понимать изменчивость, дискретность, по существу случайность имеющихся в распоряжении рядов значений физико-механических характеристиках грунтов, полученных в ходе инженерно-исследовательских работ. Учитывая широкий спектр их колебаний, связанный, кроме всего прочего, с прогнозом их изменения, авторы модели SINMAP ввели понятие индекса стабильности склона (S_I) определив его следующим образом: для «неблагоприятного» и «благоприятного» сочетания.

При «неблагоприятном» сочетании параметров (минимальных прочностных характеристиках грунтов, максимальных осадках):

$$S_I = F_{S_{min}} = \frac{C_1 + \cos\theta \left(1 - \min\left[\frac{R_1}{T_1} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right] r \right) \operatorname{tg}\varphi_1}{\sin\theta}, \quad (9)$$

где $F_{S_{min}}$ — минимальный коэффициент устойчивости склона, безразм.; C_1 — минимальное комбинированное сцепление, Н/м²; θ — угол наклона склона, град.; φ_1 — минимальный угол внутреннего трения грунтов, град., R_1 — максимальный коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут; T_1 — минимальный коэффициент водопроницаемости грунтов, м²/сут.

При «благоприятном» сочетании параметров (максимальных прочностных характеристиках грунтов, минимальных осадках):

$$S_I = F_{S_{max}} = \frac{C_2 + \cos\theta \left(1 - \min\left[\frac{R_2}{T_2} \frac{a}{\sin\theta}, 1\right] r \right) \operatorname{tg}\varphi_2}{\sin\theta}, \quad (10)$$

где $F_{S_{max}}$ — максимальный коэффициент устойчивости склона, безразм.; C_2 — максимальное

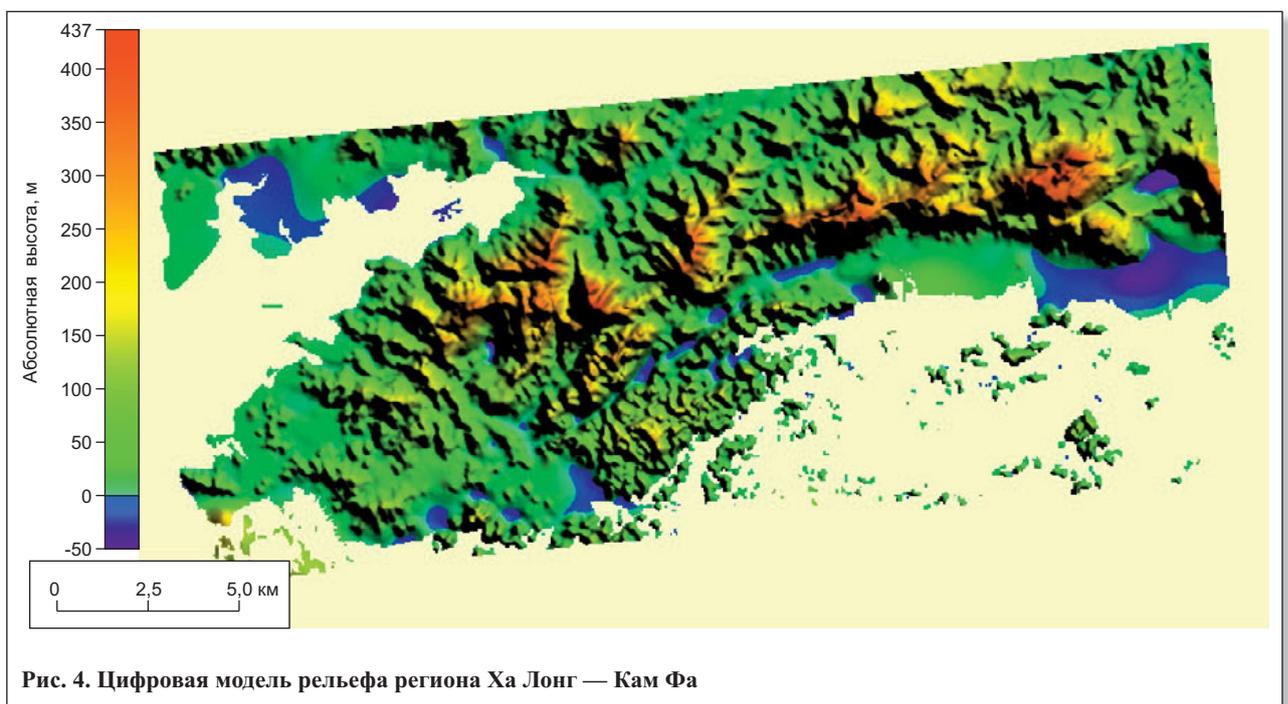


Рис. 4. Цифровая модель рельефа региона Ха Лонг — Кам Фа

Таблица 3

Значения φ , C и R/T для «благоприятного» и «неблагоприятного» сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в регионе Ха Лонг — Кам Фа							
Сочетание параметров	Возраст оползнеопасных отложений	g_s , м/с ²	ρ_w , кг/м ³	ρ_s , кг/м ³	φ , град.	C	R/T
Благоприятное	T3n-r hg	9,81	1000	1982	15,2÷30,3	0,011÷0,340	0,00190÷0,00040
Неблагоприятное	Q	9,81	1000	1846	6,5÷29,3	0,010÷0,260	0,00083÷0,00036

комбинированное сцепление, Н/м²; θ — угол наклона склона, град.; φ_2 — максимальный угол внутреннего трения грунтов, град.; R_2 — минимальный коэффициент эффективного питания подземных вод на единицу площади поверхности, м/сут; T_2 — максимальный коэффициент водопроницаемости грунтов, м²/сут.

Значения φ , C и R/T для «благоприятного» и «неблагоприятного» сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в районе Ха Лонг — Кам Фа приведены в табл. 3.

В широком смысле индекс стабильности — понятие вероятностное, которое связано с коэффициентом устойчивости следующим образом (11):

$$S_f = \text{Prob}(F_S > 1). \quad (11)$$

Важным преимуществом регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности методом SINMAP является его реализация в программном обеспечении ArcGIS. Это позволяет максимально автоматизировать процесс районирования по индексу стабильности.

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ И ГЕОЛОГИЧЕСКОМ СТРОЕНИИ РАЙОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА НА СЕВЕРОВОСТОКЕ ВЬЕТНАМА

Исследуемый регион имеет площадь 351 км² (из них 238,5 км² — суша). Он протянулся вдоль северо-восточного побережья Вьетнама от города Ха Лонг до города Кам Фа. В промышленном отношении наибольшее значение здесь имеет угледобыча. Самая высокая точка в данном районе — вершина Као Цон (436 м над уровнем моря). Средний уклон территории составляет 10,8. Растительный покров занимает 47,35% общей площади (см. рис. 4).

В геологическом строении региона Ха Лонг — Кам Фа распространены следующие отложения:

- толща Бак Сон (С-Р3 bs), представленная известняками от серого до светло-серого цвета, залегающими толстыми слоистыми блоками;
- толщи Бай Чай (Р3 bc), Ха Сои (J1-2 hc), Тиеу Гиао (N2 tg), представленные переслаиванием песчаников, алевролитов и глинистых сланцев;
- толща Хон Гай (Т3n-r hg), представленная углесодержащими терригенными осадками;
- мезо-кайнозойские осадочные породы на большей части территории перекрыты четвертичными рыхлыми отложениями (Q).

В качестве исходных данных для регионального прогноза оползневой опасности для района Ха

Лонг — Кам Фа были использованы результаты дистанционного зондирования и отчеты Института геологических наук и минеральных ресурсов Вьетнама.

РАЙОНИРОВАНИЕ РЕГИОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА ПО ВОСПРИИМЧИВОСТИ К ОПОЛЗНЕВЫМ ПРОЦЕССАМ

Результатом регионального прогноза по восприимчивости территории к оползневым процессам является карта районирования (рис. 5).

Как уже указывалось выше, при построении карты важным моментом является выбор разумных уровней классификационного показателя H .

Для оценки степени восприимчивости территории к оползневым процессам авторы использовали принцип «светофора», в соответствии с которым регион Ха Лонг — Кам Фа был разделен на три типа зон, в пределах которых восприимчивость геологической среды к оползневым процессам: (1) высокая; (2) средняя; (3) низкая (см. рис. 5).

Методом подбора были определены приемлемые уровни изменения интегрированного показателя восприимчивости к оползневым процессам для каждой из выделенных зон соответственно: (1) $H = 0,6 \div 0,8$; (2) $H = 0,4 \div 0,6$; (3) $H = 0,0 \div 0,4$. Для районирования региона Ха Лонг — Кам Фа использовался программный модуль Spatial Analyst ГИС ArcMap.

Первая зона показана на рис. 5 красным цветом. Она проходит в виде узкой полосы у подножий склонов. В геологическом отношении она приурочена к периферийной части толщи Хон Гай, представленной черными аспидными полосчатыми глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками. Геоморфологически данная зона характеризуется крутыми склонами и откосами.

Большие перепады высот и крутизна склонов, большая мощность коры выветривания и наличие зон ослабления, связанных с прослоями глинистых пород и угля, а также наличие разрывных нарушений и широкое развитие в основаниях склонов эрозии способствуют активизации оползневых процессов в пределах первой зоны.

Полевое инженерно-геологическое обследование показало, что на склонах имеются многочисленные проявления солифлюкции (дерновый покров на них разорван открытыми зияющими трещинами). В ходе маршрутных наблюдений были выявлены многочисленные источники подземных вод (постоянные или временные). К этой зоне приурочено максимальное количество выявленных оползней.

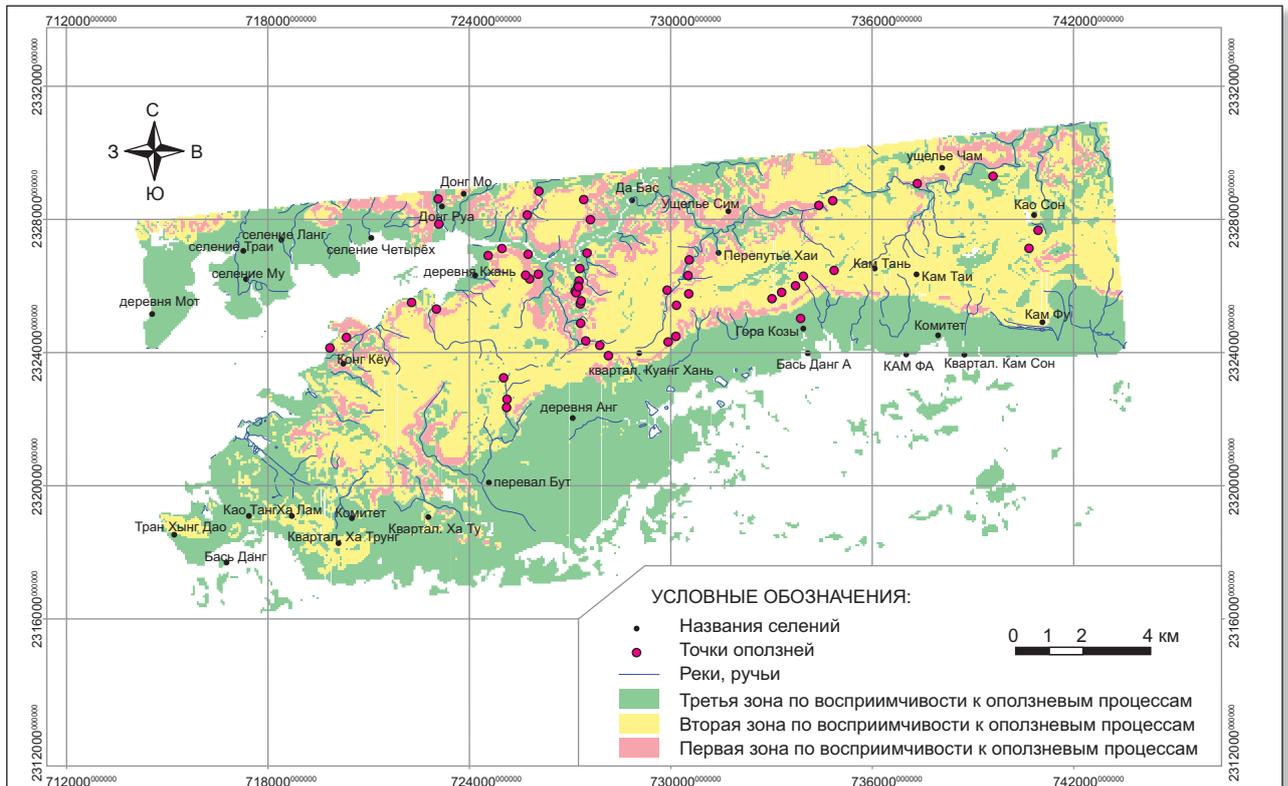


Рис. 5. Карта районирования территории Ха Лонг — Кам Фа по степени восприимчивости к оползневым процессам

Вторая зона показана на рис. 5 желтым цветом и имеет очертания в виде блоков. В геологическом отношении она приурочена к центральной части толщи Хон Гай, представленной континентальными отложениями — галечниками, кварцевыми песчаниками с прослоями черных алевролитов, углей, глинистых сланцев. Практически

повсеместно эта толща перекрыта делювиальными супесями и суглинками.

Большие перепады высот и крутизна склонов, наличие зон ослабления, связанных с прослоями глинистых пород и угля, большие накопления элювиальных и делювиальных отложений — все это способствует активизации оползневых процессов. Ко

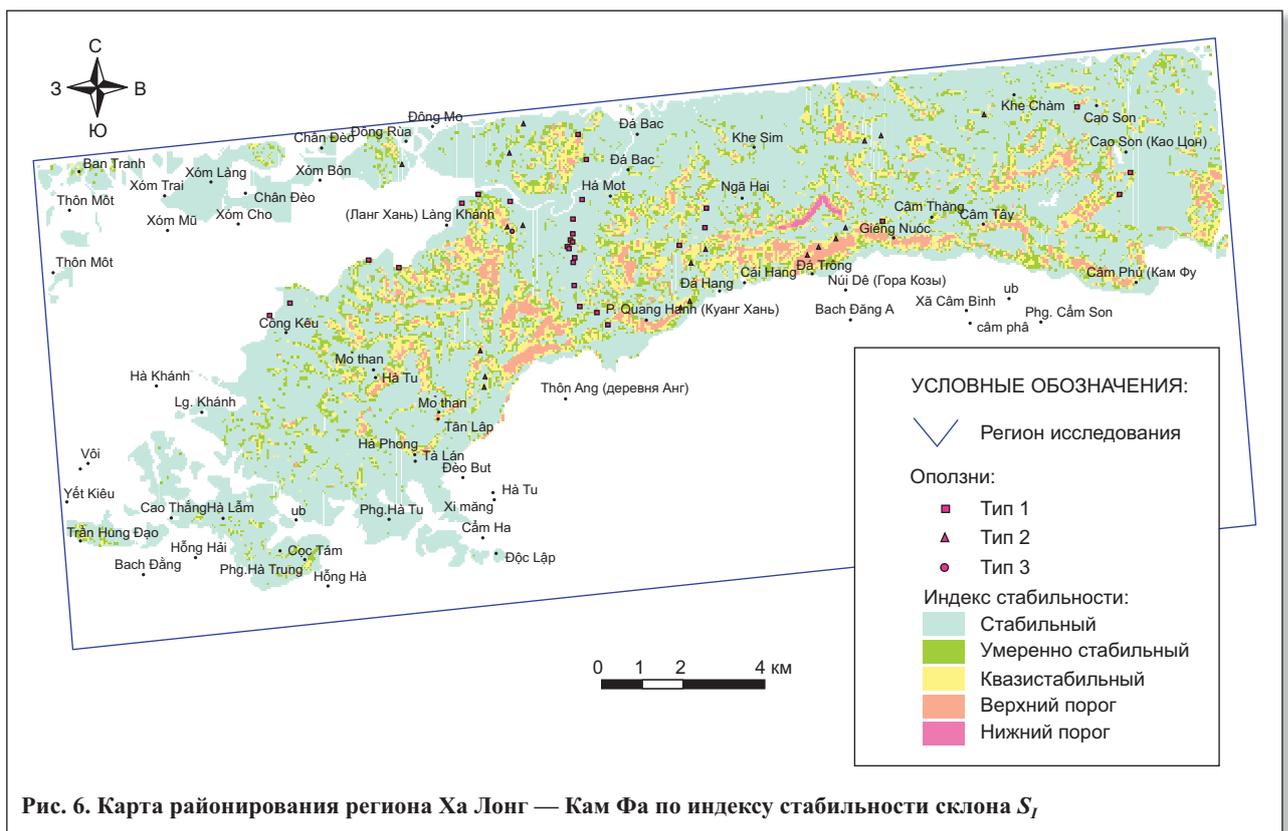


Рис. 6. Карта районирования региона Ха Лонг — Кам Фа по индексу стабильности склона S_f



Таблица 4

Определение устойчивости склонов на основе индекса стабильности S_f	
Тип склона по стабильности	Индекс стабильности
Стабильный	$S_f > 1,5$
Умеренно стабильный	$1,25 < S_f \leq 1,5$
Квазистабильный	$1,0 < S_f \leq 1,25$
Верхний порог стабильности (для потери устойчивости необходимо неблагоприятное сочетание параметров)	$0,5 < S_f \leq 1,0$
Нижний порог стабильности (для сохранения стабильности необходимо благоприятное сочетание параметров)	$0,0 < S_f \leq 0,5$
Склон нестабилен (коэффициент устойчивости < 1)	$S_f = 0$

второй зоне приурочено значительное количество выявленных в ходе полевых исследований оползней.

Третья зона показана на рис. 5 зеленым цветом. Она расположена в пределах долин Донг Хо и Куанг Хань, равнинного побережья залива Куок Беа, равнины Кам Фа, прибрежных пляжей территорий Кам Сын, Бась Данг А — Кам Фа. В геологическом отношении данная зона приурочена к закарстованным известнякам каменноугольно-пермского возраста (толще Бак Сон), породам юрского (толще Ха Сои) и неогенового (толще Тиеу Гиао) возраста и отложениям четвертичного периода.

Проявлений оползневых процессов в данной зоне практически не отмечено, за исключением долины Донг Хо, где решающую роль в формировании оползней играет фактор крутизны склонов.

РАЙОНИРОВАНИЕ РЕГИОНА ХА ЛОНГ — КАМ ФА ПО ИНДЕКСУ СТАБИЛЬНОСТИ СКЛОНА (SINMAP)

Результатом регионального прогноза по индексу стабильности S_f является карта районирования (рис. 6). Для определения устойчивости склонов на основе S_f авторы SINMAP разработали классификацию, приведенную в табл. 4.

Исходными данными для районирования территории по оползневой опасности методом SINMAP является следующий набор карт:

- цифровая модель рельефа;
- карта мощности коры выветривания;
- карта районирования территории по физико-механическим свойствам слагающих ее грунтов (по углу внутреннего трения, сцеплению и естественной плотности);
- карта распределения оползней, выявленных на исследуемой территории;
- карта районирования по коэффициенту увлажнения территории (отношению осадков к испарению) на основе данных метеостанции Бай Чай (с 1989 по 2003 г.).

Принципиальная схема районирования оползневой опасности на основе SINMAP представлена на рис. 7.

Наилучшие результаты использование SINMAP дает при оценке опасности возникновения неглубоких оползней.

Анализ результатов, полученных на основе районирования территории по индексу стабильности,

показывает высокий уровень их достоверности: области с крутыми и длинными склонами имеют низкий индекс стабильности ($0,0 < S_f \leq 0,5$); умеренно крутые и длинные склоны с большой мощностью коры выветривания и значительной площадью водосбора имеют S_f от нижнего порога неустойчивости ($0,5 < S_f \leq 1,0$) до умеренного и квазистабильного уровня ($1,00 < S_f \leq 1,25$). Однако часть выявленных в процессе полевого обследования оползней находится вне участков с низким индексом S_f . Вероятно, это связано с активным промышленным освоением территории, выполнением крутых склонов, разработкой угольных месторождений и т.д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональное прогнозирование оползневой опасности в регионе Ха Лонг — Кам Фа осуществлялось путем применения двух методов: по восприимчивости территории к оползневым процессам и по индексу стабильности (методом SINMAP).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и наметить следующие направления для дальнейших исследований.

1. Метод районирования территории по восприимчивости к оползневым процессам относительно прост в применении и дает надежные результаты.

2. В процессе такого районирования на основе сочетания факторов оползнеобразования выявлены наиболее опасные области в регионе Ха Лонг — Кам Фа. В первую очередь это область распространения континентальных отложений толщи Хон Гай, характеризующаяся высокими значениями интегрированного показателя H . Это необходимо учитывать при планировании хозяйственного освоения территории.

3. Метод районирования по индексу стабильности позволяет получить достоверные количественные показатели, хорошо характеризующие распространение мест развития оползневых процессов.

4. На основе районирования исследуемой территории по индексу стабильности определены потенциально оползнеопасные области с высоким уровнем неустойчивости ($0,0 < S_f \leq 0,5$) и низкой

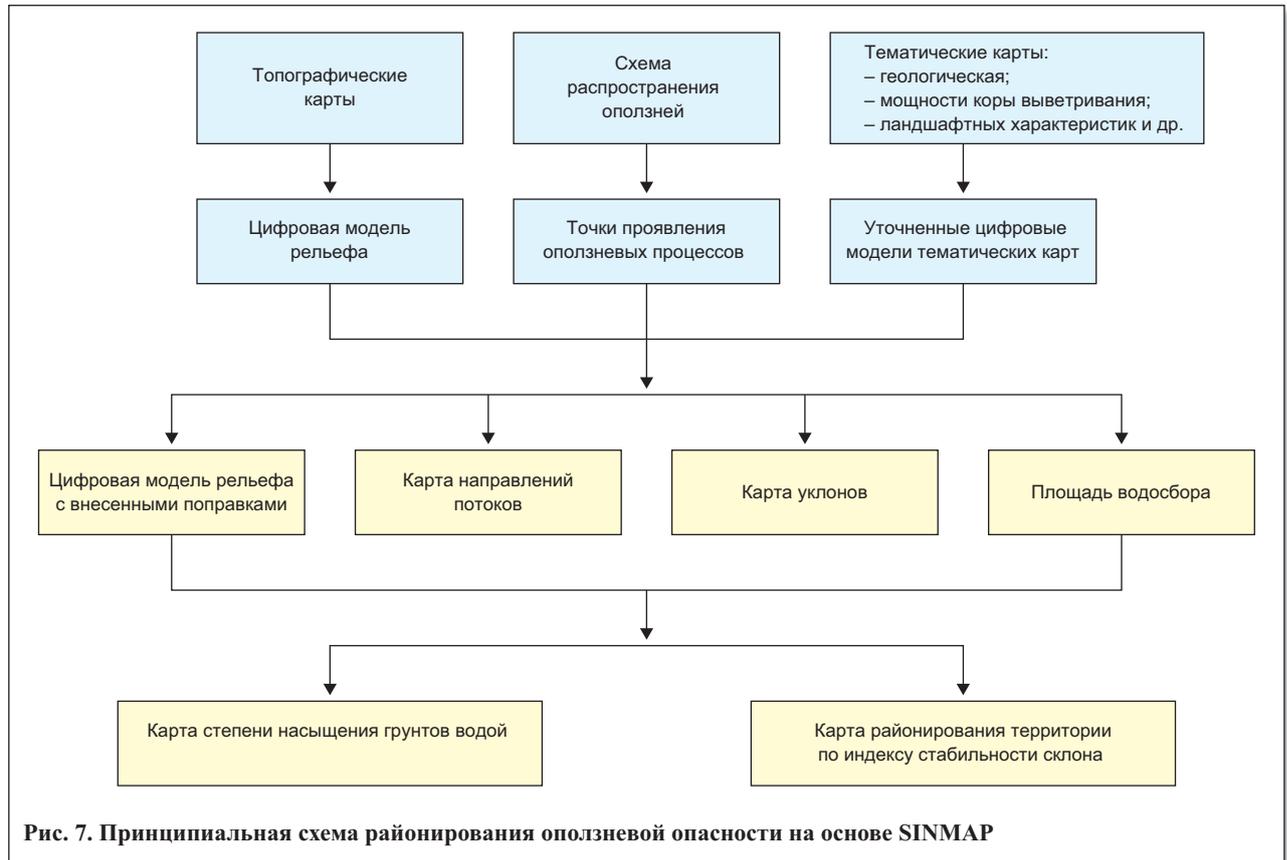


Рис. 7. Принципиальная схема районирования оползневой опасности на основе SINMAP

стабильностью ($0,5 < S_f \leq 1,0$). К ним относятся некоторые области в центральной и юго-восточной части региона Ха Лонг — Кам Фа, сложенные породами триасового возраста (толщей Хон Гай) и четвертичными отложениями.

5. Используемые методы регионального прогноза оползневой опасности взаимно дополняют друг друга, а получаемые в результате их сочетания прогнозные оценки имеют повышенную точность. ↻

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярз Л.А. Инженерная геодинамика: учебник. М.: КДУ, 2007. С. 334–336, 349–355.
2. Зыонг М.Х., Фам В.Т. Использование дистанционного зондирования и географической информационной системы (ГИС) для определения оползней в районе Ха Лонг — Кам Фа // Горные науки и технологии. Геология. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2008 (на вьетнамском языке). С. 27–29, 31–33.
3. Кюнцель В.В. Закономерности оползневых процессов на Европейской территории СССР и его региональный прогноз. М.: Недра, 1980. С. 176–178, 198–201.
4. Ле К.Т., Ву Т.Т., Нгуен С.Н. и др. Исследование геологических катастроф на основе приложений моделей и ГИС (например, в Донг Данг — Ланг Шон) // Горные науки и технологии. Геология. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2006. № 16/10 (на вьетнамском языке). С. 17–18.
5. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: учебник. Л.: Недра, 1977. С. 273–276.
6. Нгуен Н.Т., Нгуен Т.З., Нгуен М.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы приложений. Ханой: Институт естественных наук Вьетнамского национального университета, 2003 (на вьетнамском языке). С. 259–270, 274–278, 294–301 и 371–378.
7. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. С. 167–169.
8. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов. М.: Стройиздат, ПНИИИС Госстроя СССР, 1984. 80 с.
9. Трофимов В.Т., Красилова Н.С. Инженерно-геологические карты: учебное пособие. М.: КДУ, 2007. С. 94–97.
10. Фам В.Т. Геологические риски во Вьетнаме и необходимость их решения // Материалы научной национальной научно-практической конференции «Геологические риски и меры их профилактики». Ханой: Строительное издательство, 2008 (на вьетнамском языке). С. 9–14.
11. Фам В.Т. Теоретические основы методики инженерно-геологических исследований. Ханой: Ханойский горно-геологический университет, 2000 (на вьетнамском языке). С. 2–19, 26–30.
12. Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Комплексная методика расчета устойчивости склонов // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований — 2011». Одесса: Черноморье, 2011. С. 88–96.
13. Чан К.Б. ESRI ArcGIS 8.1: лекция. Ханой: Институт естественных наук Вьетнамского национального университета, 2004 (на вьетнамском языке). С. 62–67.
14. Chacon J., Irigaray C., Fernandez T., El Hamdouni R. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems // Bulletin of Engineering Geology of the Environment. 2006. V. 5. P. 341–411.
15. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's manual. Sinmap 2. A stability index approach to terrain stability hazard mapping. Version for ArcGIS 9.x and Higher. Logan, Utah: Utah State University, Terratech Consulting Ltd, Canadian Forest Products Ltd, C.N. Goodwin fluvial system consulting, 2005. С. 1–39.



К ОЦЕНКЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАРСТОВЫХ ФОРМ TOWARDS ASSESSMENT OF MORPHOMETRIC CHARACTERISTICS OF KARST FORMS

ЩЕРБАКОВ С.В.

Инженер научно-исследовательской части Пермского государственного национального исследовательского университета (ПГНИУ), г. Пермь, greyv@mail.ru

КАТАЕВ В.Н.

Заведующий кафедрой динамической геологии и гидрогеологии ПГНИУ, д.г.-м.н., профессор, г. Пермь, kataev@psu.ru

SHCHERBAKOV S.V.

An engineer of the research sector of Perm State National Research University, Perm, greyv@mail.ru

KATAEV V.N.

The head of the department of dynamic geology and hydrogeology of Perm State National Research University, doctor of science (Geology and Mineralogy), professor, Perm, kataev@psu.ru

Ключевые слова:

карстовые формы; провал; воронка; полость; зона дробления; средний диаметр; вертикальная мощность (высота); индекс морфометрии; закон распределения

Key words:

karst forms; doline; sinkhole; cavern; breaking zone; average diameter; vertical thickness (height); morphometry index; distribution law

Аннотация

В статье рассматривается попытка обобщения обширного фактического материала по морфометрическим характеристикам карстовых форм, закартированных в пределах наиболее изученных территорий развития сульфатно-карбонатного карста в Пермском крае, с целью установления статистических закономерностей распределения морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм.

Abstract

The article deals with the attempt to summarize the extensive available factual material on morphometric characteristics of karst forms mapped in the most studied areas of development of sulfate-carbonate karst in the Perm region in order to determine the statistical distribution regularities of morphometric parameters of surface and underground karst forms.

Введение

В пределах многих регионов Российской Федерации, в т.ч. в Пермском крае, ведется активное хозяйственное освоение закарстованных территорий. Строительство и эксплуатация зданий и сооружений различного назначения на участках развития карста всегда сопряжены с определенными рисками возникновения катастрофических ситуаций. Возникновение таких ситуаций определяется возможностью обрушения грунтовых масс в подземные пустоты и, как следствие, образованием провалов на земной поверхности.

Применяемые в практике инженерно-геологических исследований методы прогноза возникновения опасных ситуаций в пределах закарстованных территорий сводятся к получению двух основных характеристик — вероятности возникновения провала в данном месте и оценки его возможных размеров. Например, действующими нормативными документами [10] при районировании закарстованных территорий по степени устойчивости наряду с качественными показателями регламентировано применение двух количественных величин, в зависимости от значений которых территории приписывается та или иная категория устойчивости. Этими величинами являются интенсивность провалообразования и средний диаметр провалов.

Помимо нормативного подхода к оценке устойчивости закарстованных территорий в отечественном и зарубежном опыте инженерного карстоведения имеются многочисленные альтернативные методики проведения такой оценки [1, 4–6, 9, 11, 29]. Большинство авторских методик ориентировано на предсказание расположения участков возможного провалообразования, но при этом вопрос о параметрах возможных провалов, как правило, остается на втором плане.

Кроме того, большинство методов оценки карстоопасности сводится главным образом к анализу плотности распределения поверхностных форм карста, чаще по результатам картирования и описания карстовых воронок с последующей их статистической обработкой. В то же время изучение строения карстового массива и развитых в его толще подземных карстовых форм зачастую ограничивается лишь определением их качественных характеристик.

В связи с вышеизложенным в данной работе рассматривается попытка обобщения обширного фактического материала по морфометрическим характеристикам карстовых форм, закартированных в пределах наиболее изученных территорий развития сульфатно-карбонатного карста в Пермском крае. Целью является установление статистических закономерностей распределения морфометрических па-



раметров как поверхностных, так и подземных карстовых форм с их последующей генерализацией. Пилотными в данном исследовании служат территории г. Кунгура, пгт Полазны, энергокоридора трансрегионального газопровода высокого давления «Ямбург — Елец» на участке Красноясыльского полигона близ п. Красный Ясыл Ординского района, п. Октябрьский (рис. 1).

Статистическая характеристика карстовых форм

При анализе были использованы параметры воронок и провалов, полученные в результате карстологических съемок, а также характеристики карстовых полостей и зон дробления, вскрытых в результате буровых работ. Обоснование включения в карстологический анализ зон дробления было выполнено авторами ранее [19]. За исходные данные для анализа были приняты основные морфометрические характеристики карстовых форм: *средний диаметр d и глубина z воронок и провалов, высота (мощность) h полостей и зон дробления*, вскрытых бурением. Некоторые основные статистические характеристики исследуемых морфометрических параметров карстовых форм приведены в табл. 1, 2.

В практике карстологического анализа давно доказано, что распределение диаметров карстовых провалов носит логарифмически-нормальный характер [3, 8, 11]. При этом в зависимости от возраста провалов кривая логнормального распределения постепенно отклоняется в сторону больших значений

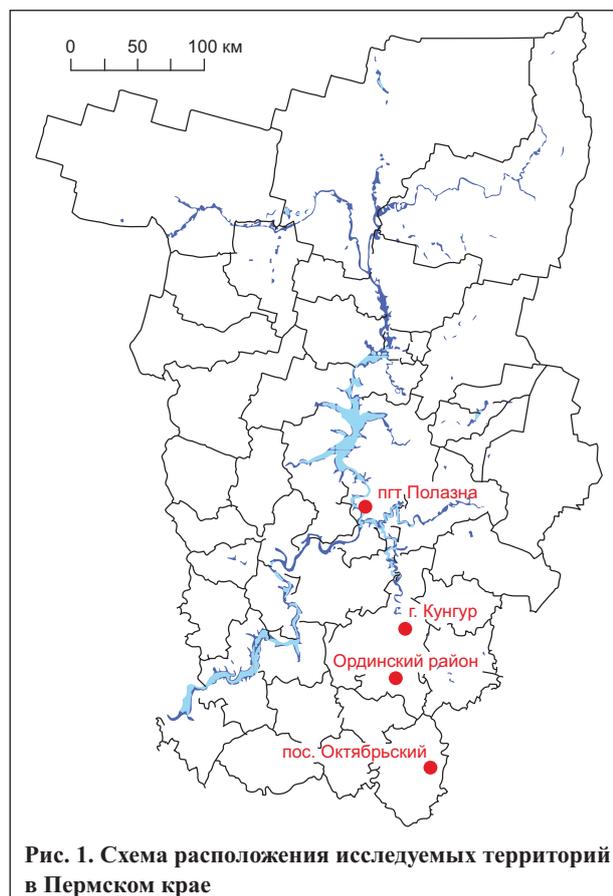


Рис. 1. Схема расположения исследуемых территорий в Пермском крае

[5, 7, 8, 12], однако характер этого отклонения в большинстве случаев оказывается незначительным.

Таблица 1

Статистическая характеристика средних морфометрических параметров карстовых форм и зон дробления				
Территория исследования	Количество карстовых форм, шт.	Диаметр поверхностных, высота (мощность) подземных карстовых форм, м		
		мин.	макс.	средн.
<i>Карстовые провалы и воронки</i>				
г. Кунгур	854	0,1	35,7	8,7
пгт Полазна	535	0,5	100,0	8,8
Ординский р-н	1906	0,4	85,0	10,3
п. Октябрьский	89	1,0	90,0	14,4
ОБЩЕЕ*	3384	0,1	100,0	10,6
<i>Карстовые полости</i>				
г. Кунгур	509	0,1	17,8	2,2
пгт Полазна	146	0,2	18,0	2,6
Ординский район	352	0,1	9,5	1,4
пос. Октябрьский	40	0,1	9,0	1,2
ОБЩЕЕ	1047	0,1	18,0	1,9
<i>Зоны дробления</i>				
г. Кунгур	386	0,1	13,8	3,4
пгт Полазна	82	0,5	21,0	4,4
Ординский район	408	0,1	28,0	3,4
пос. Октябрьский	221	0,1	31,5	2,9
ОБЩЕЕ	1097	0,1	31,5	3,5

* В строках «ОБЩЕЕ» дана интегральная характеристика рассматриваемых статистических параметров по всем исследуемым территориям.

Таблица 2

Статистическая характеристика карстовых провалов и воронок по их глубине				
Территория исследования	Количество карстовых форм, шт.	Глубина провалов и воронок, м		
		мин.	макс.	средн.
г. Кунгур	412	0,1	13,0	1,5
пгт Полазна	209	0,2	35,0	3,6
Ординский район	1861	0,1	20,0	2,8
п. Октябрьский	76	0,2	10,0	2,4
ОБЩЕЕ*	2558	0,1	35,0	2,6

* В строке «ОБЩЕЕ» дана интегральная характеристика рассматриваемых статистических параметров по всем исследуемым территориям.

Выбор пилотных территорий в дополнение к перечисленным критериям определялся еще и возможностью определения связи между возрастом поверхностных карстовых форм и их средними диаметрами с использованием результатов ранее проведенных исследований. Так, в пределах г. Кунгура и пгт Полазны за последние 50 лет неоднократно фиксировались случаи образования провалов, велись их описание и привязка. На участке газопровода в пределах территории Ординского района мониторинг образования новых провальных деформаций ведется Пермским государственным национальным исследовательским университетом и ОАО «Пермгипроводхоз» лишь с 1998 г. и носит в большей степени инициативный характер. Большая же часть карстовых воронок была закартирована на этой территории в 1980-х — начале 1990-х гг. На территории пос. Октябрьского мониторинг новых провальных деформаций не осуществлялся, хотя и проводились точечные карстологические съемки с выявлением карстовых воронок. По приведенным в табл. 1 данным хорошо прослеживается возрастание средних диаметров поверхностных карстовых форм, закартированных в пределах Ординского района и пос. Октябрьского.

Результаты исследований К.А. Горбуновой [3] и Н.П. Торсуева [13, 14] показали, что логарифмически-нормальный характер распределения прослеживается и в отношении глубин карстовых провалов. Близость средней глубины карстовых форм к минимальным значениям характерна для провалов и воронок всех исследуемых районов (см. табл. 2). Этими же авторами впервые была отмечена прямая

корреляционная связь между диаметрами и глубиной воронок.

Для поверхностных карстовых форм, развитых в пределах исследуемых территорий, также наблюдается прямая корреляция между их средними диаметрами и глубиной. Причем в большинстве случаев эта связь носит тесный характер, и лишь на территории г. Кунгура корреляционная зависимость выражена слабо.

После обработки первичной генеральной совокупности данных и исключения из нее наиболее отклоняющихся от общего тренда пар значений средних диаметров и глубин для всех исследуемых территорий были получены весьма тесные зависимости между этими параметрами. В таблице 3 приведены регрессионные уравнения, которые не только рекомендуются использовать как прогнозные в рамках рассматриваемых территорий, но и с определенной долей погрешности допускается применять при исследованиях в других карстовых районах Пермского края, характеризующихся схожим геологическим строением.

Выявление особенностей распределения основных морфометрических параметров поверхностных карстовых форм, таких как провалы и воронки, на сегодняшний день является практически обычным элементом карстологического анализа. Однако следует заметить, что особенности распределения параметров подземных карстовых форм в практике карстологического анализа применяются редко. Большой объем информации по морфометрии полостей и зон дробления, полученный авторами в процессе выполнения комплексной работы «Мониторинг закарстованных территорий Пермской обла-

Таблица 3

Зависимость глубины провалов от их средних диаметров					
Территория исследования	Генеральная совокупность		Выборочная совокупность		Прогнозное уравнение
	Кол-во пар значений, шт.	Коэффициент корреляции, д.е.	Кол-во пар значений, шт.	Коэффициент корреляции, д.е.	
г. Кунгур	412	0,35	295	0,78	$z = 0,2955d$
пгт Полазна	209	0,79	166	0,96	$z = 0,3547d$
Ординский р-н	1861	0,65	1633	0,85	$z = 0,2891d$
п. Октябрьский	76	0,64	60	0,88	$z = 0,2803d$
ОБЩЕЕ*	2558	0,68	1968	0,92	$z = 0,3107d$

* В строке «ОБЩЕЕ» дана интегральная характеристика рассматриваемых статистических параметров по всем исследуемым территориям.



сти» в 2006–2010 гг. [7] и его последующая статистическая обработка позволили установить логнормальный характер распределения вертикальных параметров (мощностей) полостей и зон дробления (см. табл. 2). Распределения диаметров и глубины провалов, вертикальных размеров полостей и зон дробления носят один и тот же характер. Средние значения этих морфометрических характеристик наиболее близки к их минимальным величинам. При наличии достаточно большого количества данных по исследуемым морфометрическим параметрам карстовых форм их распределения весьма точно соответствуют логарифмически-нормальному закону.

Изучение взаимосвязей между морфометрией поверхностных и подземных карстовых форм

В связи с отмеченной общностью распределений исследуемых морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм закономерно возникает вопрос о наличии взаимосвязей между этими характеристиками. Заметим, что он уже неоднократно поднимался раньше. Так, например, на прямой характер зависимости диаметров провалов от высоты подземных полостей указывали В.Н. Андрейчук [2], В.В. Толмачев и Ф. Ройтер [12], однако все эти наблюдения оставались лишь на качественном уровне.

Следует признать, что проследить взаимосвязь между средними диаметрами поверхностных и высотами (мощностями) подземных карстовых форм, а затем представить ее в количественной форме достаточно сложно. Эту задачу практически невозможно решить стандартными статистическими методами поиска корреляционных зависимостей, что обуславливается сложностью строения закарстованных массивов, а также технической ограниченностью применяемых полевых методов исследования.

В настоящее время наиболее достоверные сведения о наличии подземных карстовых пустот и зон дробления коренных пород и их морфометрии можно получить только по данным изучения карстового массива прямыми методами, основными из которых являются непосредственные наблюдения в естественных подземных пустотах (спелеологический метод) и бурение. Среди косвенных методов наиболее эффективны геофизические, рекомендуемые к применению в практике инженерно-геологических изысканий в карстовых районах. Однако интерпретация их результатов в сложных геологических условиях часто бывает неоднозначной. Материалы геофизических исследований требуют обязательного сопоставления с данными бурения. Их эффективность при проведении карстологических работ в значительной степени определяется глубиной исследования.

Ввиду невозможности равномерного площадного изучения подземного пространства и, как следствие, установления мощности полостей и зон дробления во всех точках массива невозможно осуществлять и непосредственное сопоставление этих форм с провалами, происходящими на поверхности. Современ-

ными методами исследований устанавливается лишь случайное дискретное расположение карстовых форм в пространстве. В таких условиях оценка зависимостей между их морфометрией должна осуществляться комплексированием нескольких подходов. В данной работе использованы следующие процедуры анализа:

- 1) сопоставление кривых распределений основных морфометрических параметров карстовых форм;
- 2) оценка площадного распределения равных интервалов их значений;
- 3) картографическое сопоставление площадей с общими интервалами изменчивости этих параметров.

Сопоставление распределений морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм друг с другом осуществляется путем приведения их к общему виду. Для этого каждое частное значение рассматриваемой характеристики делится на ее территориальный максимум (максимальное значение в пределах всей исследуемой территории). В результате исследователь получает возможность использования *индексных оценок морфометрии карстовых форм и зон дробления*:

$$I_{di} = d_i / \max d, I_{zi} = z_i / \max z,$$

$$I_{hpi} = h_{pi} / \max h_p, I_{hzi} = h_{zi} / \max h_z$$

где $I_{di}, I_{zi}, I_{hpi}, I_{hzi}$ — индексные оценки i -х значений показателей d_i, z_i, h_{pi}, h_{zi} (соответственно диаметра воронки или провала, глубины воронки или провала, высоты полости, мощности зоны дробления, м), д.е.

Преимущество использования индексных оценок заключается в том, что в результате такой операции новые значения каждого из показателей изменяются в одинаковых пределах — от 0 до 1 — и появляется возможность сравнивать разноразмерные показатели друг с другом. При этом, чтобы получить истинное значение характеристики, достаточно выполнить обратную операцию — умножить ее индексное значение на территориальный максимум.

Данные, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о том, что средние индексные оценки исследуемых морфометрических параметров карстовых форм и зон дробления хотя и близки, но не совпадают друг с другом. Данная особенность касается параметров не только поверхностных и подземных карстовых форм в рамках одной территориальной единицы, но и однотипных карстовых форм в пределах различных территорий. Однако в результате обобщения (осреднения) индексных оценок по всем исследуемым районам все морфометрические характеристики, за исключением глубины, становятся практически одинаковыми.

Дифференциальные кривые распределений, построенные по индексным оценкам средних диаметров, глубин и мощностей карстовых форм, в целом отражают их логнормальный характер. Лишь в случае мощностей зон дробления дифференциальные кривые их распределений несколько отклоняются от логнормального закона и стремятся к экспоненциальному виду.

Примечательным является практическое совпадение друг с другом эмпирических кривых, полученных для различных районов исследования. Данное обстоятельство позволило перейти к использованию *обобщенных осредненных эмпирических дифференциальных кривых* распределений индексов морфометрии карстовых форм в пределах всех исследуемых территориальных единиц с минимальными потерями в точности прогнозов. По ним были подобраны теоретические кривые. Так, обобщенные распределения средних диаметров и глубин провалов, а также высот полостей полностью соответствуют логнормальному закону. Распределение значений обобщенных

мощностей зон дробления в целом соответствует логнормальному виду, но тем не менее наилучшим образом описывается экспоненциальным законом (рис. 2, 3).

Сопоставление обобщенных кривых распределений различных морфометрических параметров, выраженных в индексной форме, свидетельствует об их практической идентичности. Это позволяет вместо набора кривых для разных параметров использовать одну, в интегрированной форме отражающую каждое из распределений. Это интегрированное распределение можно получить путем общего осреднения всех отдельных случаев для каждого параметра. При этом теоретическая кривая логнор-

Таблица 4

Сравнение средних индексных значений морфометрических параметров карстовых форм и зон дробления				
Территория исследования	Средние индексы морфометрии, д.е.			
	провалы и воронки		высота полостей	мощность зон дробления
	глубина	высота		
г. Кунгур	0,12	0,24	0,12	0,25
пгт Полазна	0,01	0,01	0,14	0,21
Ординский р-н	0,14	0,12	0,15	0,12
п. Октябрьский	0,24	0,16	0,13	0,09
ОБЩЕЕ*	0,07	0,11	0,11	0,11

* В строке «ОБЩЕЕ» дана интегральная характеристика рассматриваемых статистических параметров по всем исследуемым территориям

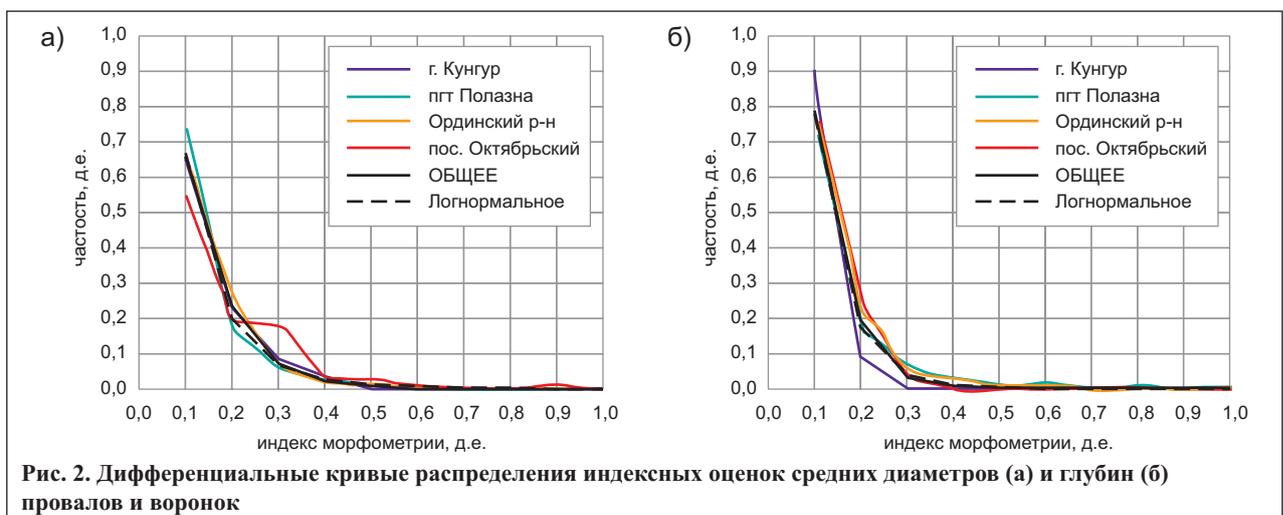


Рис. 2. Дифференциальные кривые распределения индексных оценок средних диаметров (а) и глубин (б) провалов и воронок

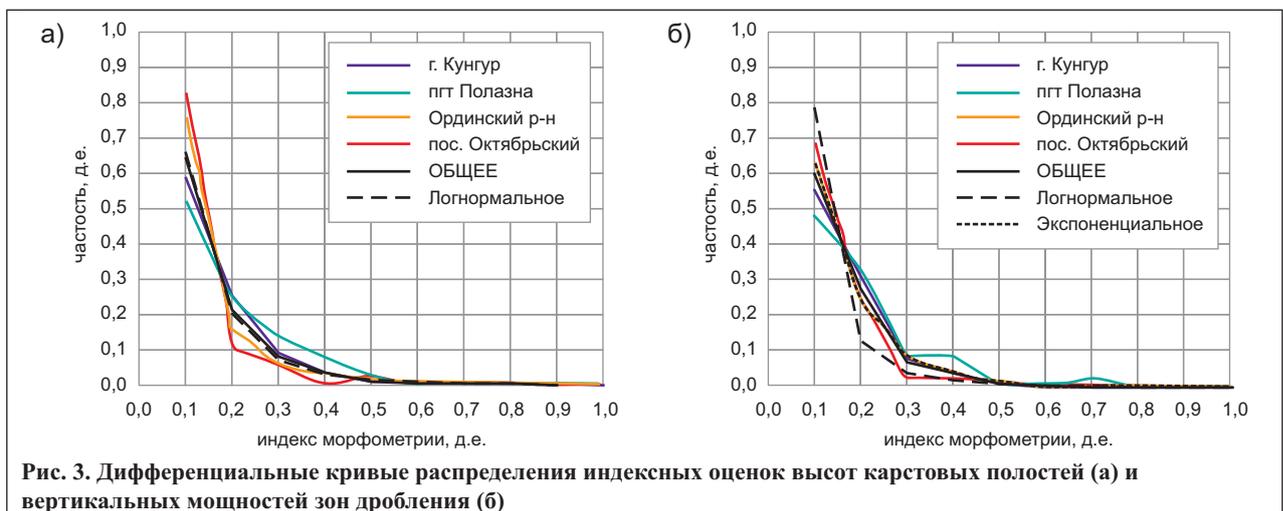


Рис. 3. Дифференциальные кривые распределения индексных оценок высот карстовых полостей (а) и вертикальных мощностей зон дробления (б)

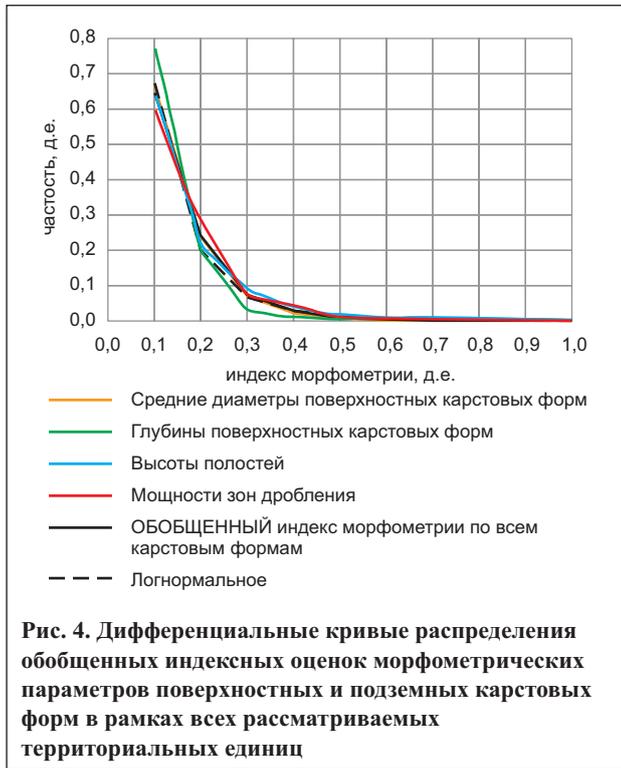


Рис. 4. Дифференциальные кривые распределения обобщенных индексных оценок морфометрических параметров поверхностных и подземных карстовых форм в рамках всех рассматриваемых территориальных единиц

мального распределения средних диаметров провалов и воронок, выраженных в индексной форме, наилучшим образом соответствует обобщенной интегрированной кривой (рис. 4).

Совпадение индексных оценок различных морфометрических параметров между собой позволяет ввести самостоятельный показатель — *общий индекс морфометрии I*, характеризующий распределения как средних диаметров и глубин провалов и воронок, так и вертикальных размеров полостей и зон дроблений.

Однако совпадение распределений морфометрических характеристик поверхностных и подземных карстовых форм, хотя и является прямым индикатором их взаимозависимости, отнюдь не дает гарантий того, что между ними имеются тесные корреляционные связи. Подтверждением взаимосвязи между морфометрией поверхностных и подземных карстовых форм может служить анализ их площадного развития в рамках ореолов, характеризующихся определенными значениями индексов морфометрии, а также картографическое сопоставление площадей их распространения.

Данные, приведенные в табл. 5, свидетельствуют о том, что в площадном отношении в пределах всех исследуемых территорий наиболее развиты карстовые формы с относительно небольшими диаметрами и высотами (менее 0,2 в индексном выражении). С увеличением средних размеров провалов, полостей и зон дробления площади их пространственного развития заметно сокращаются. Так, на долю относительно крупных карстовых форм с индексом морфометрии, превышающим 0,5, приходится менее 10% исследуемых площадей. Такая тенденция в одинаковой мере свойственна как поверхностным, так и подземным карстовым формам.

В связи с этим, а также с логнормальным характером распределения морфометрических парамет-

Таблица 5

Интервальные значения индексов морфометрии, д.е.	Площади распространения карстовых форм и зон дробления, %																			
	г. Кунгур				пгт Полазна				Ординский район				пос. Октябрьский				Все рассматриваемые территории			
	про-валы и воронки	поло-сти	зоны дроб-ления	ВСЕ	про-валы и воронки	поло-сти	зоны дроб-ления	ВСЕ	про-валы и воронки	поло-сти	зоны дроб-ления	ВСЕ	про-валы и воронки	поло-сти	зоны дроб-ления	ВСЕ	про-валы и воронки	поло-сти	зоны дроб-ления	ВСЕ
<0,1	15,4	15,7	5,4	36,6	0,6	2,9	1,3	4,8	0,5	0,7	1,2	2,3	0,9	0,8	3,0	4,7	17,4	20,1	10,9	48,4
0,1-0,2	5,6	7,3	7,1	20,0	0,8	2,8	2,0	5,6	0,4	0,6	0,6	1,6	0,9	2,1	3,0	6,0	7,7	12,8	12,7	33,3
0,2-0,3	3,7	1,3	8,3	13,3	1,3	0,5	1,4	3,2	0,4	0,2	0,3	0,8	1,7	0,5	0,8	3,0	7,0	2,5	10,8	20,4
0,3-0,4	4,2	0,8	5,2	10,2	1,0	0,0	1,2	2,2	0,4	0,1	0,0	0,5	1,4	0,1	0,5	2,0	7,0	0,9	6,9	14,9
0,4-0,5	2,1	0,5	2,3	4,9	0,9	0,0	0,2	1,1	0,2	0,0	0,0	0,3	1,1	0	0,1	1,2	4,3	0,6	2,6	7,5
0,5-0,6	1,1	0,2	1,9	3,1	0,7	0,0	0,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,1	0,7	0,0	0,0	0,7	2,6	0,2	2,0	4,8
0,6-0,7	0,7	0,2	0,7	1,6	0,6	0,0	0,0	0,6	0,1	0,0	0,0	0,1	0,4	0,0	0,0	0,4	1,8	0,2	0,7	2,7
0,7-0,8	0,3	0,2	0,3	0,8	0,5	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,3	1,1	0,2	0,3	1,6
0,8-0,9	0,1	0,0	0,1	0,3	0,4	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,2	0,9
0,9-1,0	0,1	0,0	5,4	5,5	0,7	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	1,0	0,0	5,4	6,4

Таблица 6

Нормативные категории устойчивости по средним диаметрам провалов и соответствующие им средние высоты полостей и мощности зон дробления			
Категория устойчивости	Параметры карстовых форм		
	провалов, воронок	полостей	зон дробления
А	>20,0	>3,6	>6,3
Б	20,0–10,0	3,6–1,8	6,3–3,2
В	10,0–3,0	1,8–0,5	3,2–1,0
Г	<3,0	<0,5	<1,0

ров поверхностных и подземных карстовых форм становится очевидным наличие определенной зависимости между однопорядковыми значениями этих параметров и долями площади, которую занимают соответствующие формы на исследуемой территории.

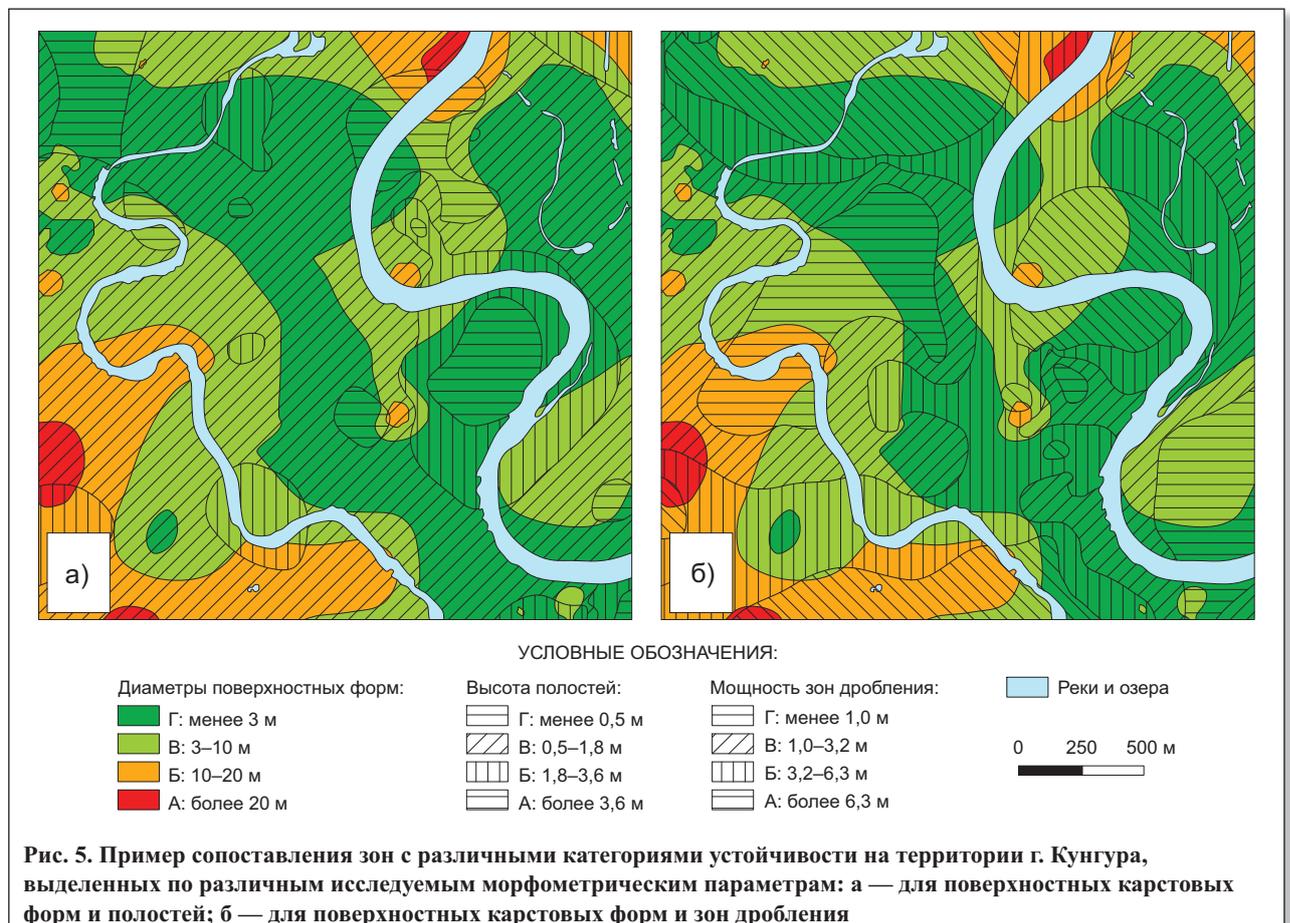
В соответствии с действующими нормативными документами [10, 15–18] закарстованные территории подразделяются на четыре категории по средним диаметрам поверхностных карстовых форм. Заметим, что граничные значения между этими параметрами, соответствующими различным категориям устойчивости, в данных документах заданы с учетом логнормального характера распределения диаметров, что выражается в увеличении их значений для каждой последующей категории. С учетом фактического совпадения распределений индексных оценок морфометрических

Таблица 7

Принципы сопоставления зон с различными категориями устойчивости, выделенных по средним диаметрам поверхностных и высотам подземных карстовых форм и зон дробления		
Уровень совпадения категорий устойчивости	Различие категорий устойчивости	Пример (см. рис. 5)
Плохое	«диаметральное»	А-Г-Б, Г-А-В
Нормальное	«на два порядка»	А-В-Б, Б-Г-В
Хорошее	«на один порядок»	Б-В-Б, А-Б-А
Отличное	отсутствует	А-А-А, Г-Г-Г

характеристик поверхностных и подземных карстовых форм, а также распределений площадей их развития, характеризующихся одинаковыми значениями индексных оценок, были получены аналогичные граничные значения для высот полостей и мощностей зон дробления путем умножения обобщенных индексных оценок на их территориальные максимумы (табл. 6).

Построенные по данным табл. 6 цифровые картографические модели изменчивости морфометрических характеристик карстовых форм и зон дробления, наложенные друг на друга, позволяют осуществлять их визуальное и аналитическое сравнение (рис. 5). В последнем случае сравнение основывается на автоматизированном подсчете площадей пересечения зон с различными категориями устойчивости, выделенных по средним диаметрам



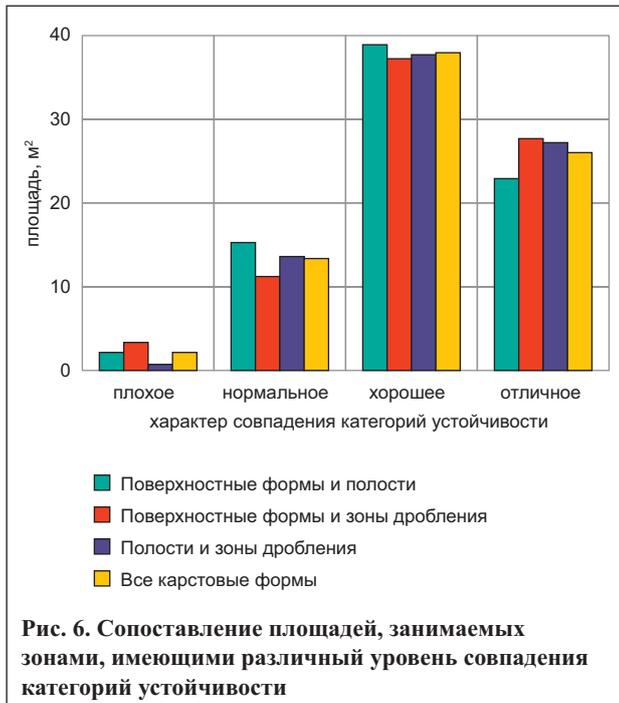


Рис. 6. Сопоставление площадей, занимаемых зонами, имеющими различный уровень совпадения категорий устойчивости

провалов и воронок, высотам полостей и зон дробления. Принципы сопоставления зон с различными категориями устойчивости по различным карстовым формам приведены в табл. 7. Общая доля «хороших» и «отличных» совпадений в площадном выражении значительно превосходит долю «плохих» и «нормальных» и составляет 70–80% (рис. 6).

Прогнозирование морфометрических параметров карстовых форм

Общность распределений и фактическое совпадение площадей распространения подземных и поверхностных карстовых форм с близкими морфометрическими параметрами позволяют сделать вывод о тесной взаимосвязи между их средними диаметрами и высотами. В связи с этим становится возможным осуществлять прогнозирование рассматриваемых морфометрических параметров одних карстовых форм по другим, отталкиваясь от их индексных оценок. Например, при диаметре карстового провала 6,0 м вероятная средняя высота обрушившейся полости и средняя вертикальная мощность возможной зоны дробления составят соответственно 1,1 и 1,9 м. С увеличением среднего диаметра до 15,0 м параметры рассматриваемых подземных карстовых форм будут равны соответственно 2,7 и 4,7 м.

Приведенные соотношения высот полостей и диаметров провалов хорошо согласуются с результатами исследований В.Н. Андрейчука [2] в районе пещеры Золушка в Крыму и в пределах массива Ледяная гора в г. Кунгуре. Общая последовательность данных вычислений заключается в делении известной величины среднего диаметра провала на его территориальный максимум, в результате чего получается индексная оценка этого параметра. Затем производится умножение индексного значения на территориальные максимумы морфометрических характеристик подземных карстовых форм и опреде-

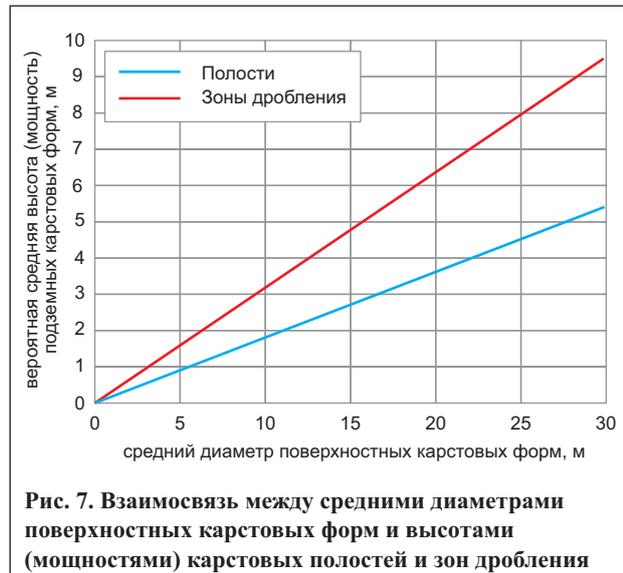


Рис. 7. Взаимосвязь между средними диаметрами поверхностных карстовых форм и высотами (мощностями) карстовых полостей и зон дробления

ляются их вероятные значения. Рекомендуемые параметры для осуществления прогноза приведены в табл. 8, а на рис. 7 представлены прогнозные прямые, построенные по табличным данным. Заметим, что таким образом возможно делать и обратные прогнозы — определять средние диаметры провалов по известным значениям высот полостей или мощностей раздробленных зон.

Заключение

Следует понимать, что установленная в результате исследований зависимость не является универсальной. Она лишь выражает принципиальный характер взаимосвязи между исследуемыми размерами поверхностных и подземных карстовых форм. Их высота в данном случае выступает в роли ключевого фактора. Именно этот параметр оказывает наиболее сильное влияние и во многом предопределяет вероятные размеры вновь образующихся провалов на поверхности земли.

Однако в природе нередки случаи, когда фиксируются значительные отклонения от установленной взаимосвязи. Согласно рис. 6 в пределах исследуемых территорий такие отклонения («плохое» и «нормальное» совпадения категорий устойчивости) наблюдались в 20% случаев. Это во многом предопределяется действием целого ряда «общих» факторов, таких как гипсометрическое положение полости (зоны дробления), свойства карстующихся пород и грунтов перекрывающей толщи, их мощность и характер залегания, особенности уложенного режима и химизма подземных вод, а также локальный структурный план территории.

Подводя итог, следует еще раз отметить генеральный характер зависимости между средними диаметрами провалов и высотами (мощностями) карстовых полостей и зон дробления в пределах рассматриваемых территорий. Расширение географии исследования с привлечением большего количества сведений о природном строении закарстованных территорий, по-видимому, позволит внести некоторые коррективы, но принципиальный характер выявленной взаимосвязи останется прежним. С учетом этого полу-

Таблица 8

Рекомендуемые параметры для предварительной оценки средних диаметров поверхностных и высот подземных карстовых форм и зон дробления на территории Пермского края			
Карстовые формы	Макс. значение диаметра (высоты) карстовой формы, м	Параметры осредненного логнормального распределения для всех морфометрических характеристик карстовых форм и зон дробления	
		среднее значение	среднеквадр. отклонение
Провалы и воронки	100,0	-2,74	1,02
Полости	18,0		
Зоны дробления	31,5		

ченные результаты могут быть использованы при исследованиях закарстованных территорий в рамках всего Пермского края. В практических целях применение полученных результатов может быть оправданным при изысканиях в таких районах на предпроектных стадиях строительства. Изыскания на стадии разработки проекта и рабочей документации требуют дополнительной корректировки получаемых сведений о морфометрии карстовых форм с привлечением как можно большего количества

данных о влиянии второстепенных факторов на изучаемые параметры.

Исследование, представленное в данной статье, было выполнено в рамках международного научно-хозяйственного освоения и оценки уязвимости подземных вод закарстованных территорий», финансируемого Министерством образования Пермского края. ↻

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адерхолд Г. Классификация провалов и мульд оседаний в карстоопасных районах Гессена. Рекомендации по оценке геотехнических рисков при проведении строительных мероприятий / под ред. Е.В. Копосова; пер. с нем. В.В. Толмачева. Нижний Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2010. 109 с.
2. Андрейчук В.Н. Провалы над гипсовыми пещерами-лабиринтами и оценка устойчивости закарстованных территорий. Черновцы: Прут, 1999. 52 с.
3. Горбунова К.А. Морфометрическая характеристика карбонатного карста // Материалы Всеуральского совещания «Карст Урала и Приуралья». Пермь, 1968. С. 33–39.
4. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1992. 143 с.
5. Ерофеев Е.А., Катаев В.Н. Применение вероятностно-статистических методов оценки карстовой опасности в условиях техногенного воздействия на закарстованные территории // Инженерная геология. 2010. № 4. С. 34–46.
6. Зиангиров Р.С., Миронов Н.А., Пендин В.В. Применение многомерного корреляционно-регрессионного анализа для оценки и прогноза устойчивости закарстованной территории // Инженерная геология. 1986. № 3. С. 55–64.
7. Катаев В.Н. Опыт организации карстомониторинга (на примере закарстованных территорий Пермского края) // Материалы семинара по проблемам инженерного карстования. Дзержинск: Изд-во СРО НП «ИГИС», 2012. С. 59–71.
8. Костарев В.П. Провалы Кунгурско-Иренского междуречья // Тезисы докладов Юбилейной конференции «Карстовые провалы», г. Кунгур, 28–29 сентября, 1994 г. Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994. С. 60–63.
9. Методические рекомендации по прогнозу карстопровальной опасности с учетом временного фактора / Н.А. Блоцкий, Н.Н. Ковшиков. Черкасы: ОНИИТЭХИМ, 1989. 35 с.
10. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Ч. II: Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов. М.: Госстрой России, 2000.
11. Толмачев В.В. Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектировании противокарстовых мероприятий // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 98–107.
12. Толмачев В.В., Ройтер Ф. Инженерное карстование. М.: Недра, 1990. 151 с.
13. Торсуев Н.П., Трофимов А.М. Зависимость диаметра карстовых воронок от глубины и ее геоморфологический смысл // Географический сборник. Вып. 4. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1969. С. 12–18.
14. Торсуев Н.П. Пространственно-временная организация карстовых систем. Казань: Отечество, 2007. 180 с.
15. ТСН 302-50-95 РБ. Инструкция по изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях. Уфа: Госстрой Республики Башкортостан, 1996. 44 с.
16. ТСН 22-308-98 НН. Инженерные изыскания, проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области. Нижний Новгород: Администрация Нижегородской области, 1999. 72 с.
17. ТСН 11-301-2004 По. Инженерно-геологические изыскания для строительства на закарстованных территориях Пермской области. Пермь: Администрация Пермской области, 2005.
18. ТСН 31-11-2005 Пк. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений на закарстованных территориях Пермского края. Пермь: Администрация губернатора Пермского края, 2005.
19. Щербаков С.В. Анализ подземной закарстованности на территории Полазненского полуострова // Материалы 1-й Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире». Пермь: Изд-во Пермского гос. ун-та, 2010. Т. 2. С. 43–46.
20. Щербаков С.В., Катаев В.Н. Интегральная оценка карстоопасности урбанизированных территорий (на примере г. Кунгура) // Ученые записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2011. Т. 153. Кн. 1. С. 203–224.

МОНИТОРИНГ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «БИАТЛОННЫЙ КОМПЛЕКС» В Г. ХАНТЫ-МАНСИЙСКЕ

MONITORING OF THE «BIATHLON COMPLEX» NATURAL-TECHNICAL SYSTEM IN KHANTY-MANSIYSK

АБАТУРОВА И.В.

Доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета, директор ООО «ГИНГЕО», к.г.-м.н., г. Екатеринбург, gingeo@mail.ru

КОВЯЗИН И.Г.

Аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, kamell@rambler.ru

ТАКТУЕВ Е.М.

Аспирант кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии факультета геологии и геофизики Уральского государственного горного университета, г. Екатеринбург, gingeo@mail.ru

ABATUROVA I.V.

An associate professor of the department of hydrogeology, engineering geology and geoecology of the faculty of geology and geophysics of the Ural State Mining University, candidate of science (Geology and Mineralogy), the director of the «GINGEO» LLC, Ekaterinburg, gingeo@mail.ru

KOBYAZIN I.G.

A postgraduate student of the department of hydrogeology, engineering geology and geoecology of the faculty of geology and geophysics of the Ural State Mining University, Ekaterinburg, kamell@rambler.ru

TAKTUYEV E.M.

A postgraduate student of the department of hydrogeology, engineering geology and geoecology of the faculty of geology and geophysics of the Ural State Mining University, Ekaterinburg, gingeo@mail.ru

Ключевые слова:

Ханты-Мансийск; биатлонный комплекс; Самаровский останец; природно-техническая система; мониторинг; техногенное воздействие; овражная эрозия.

Key words:

Khanty-Mansiysk; biathlon complex; Samarovskiy residual mountain; natural technical system; monitoring; technogenic influence; ravine erosion.

Аннотация

В статье рассмотрены структура и компоненты природно-технической системы «Биатлонный комплекс» в г. Ханты-Мансийске, а также взаимодействия между этими компонентами. Определены задачи и элементы системы ее мониторинга.

Введение

В последние годы на территории г. Ханты-Мансийска активно развиваются опасные природные и природно-техногенные процессы, представляющие реальную угрозу зданиям, сооружениям и жизни людей. На их развитие наряду с природно-климатическими условиями большое влияние оказывают техногенные факторы. Немаловажное значение здесь имеет Центр зимних видов спорта (Биатлонный комплекс) имени А.В. Филипенко, комплекс сооружений которого построен на склонах юго-западной части Самаровского останца (рис. 1) с минимальным учетом возможности развития опасных процессов. Это приводит к нарушению динамического равновесия в сформированной природно-технической системе (ПТС) «Биатлонный комплекс» и возникновению чрезвычайных ситуаций.

Например, 12 июня 2012 г. в результате выпадения ливневых осадков центр был практически смыт. К потокам, стекающим со склона Биатлонного комплекса, присоединилась вода с городских улиц, склонов стадиона и станции канатной дороги. Это огромное количество воды обрушилось на водоотводящие каналы, пропускная способ-

Abstract

The article considers the structure and components of the «Biathlon complex» natural-technical system in Khanty-Mansiysk (Russia) as well as the interactions between the components. The tasks and elements of its monitoring system are defined.



ность которых не была рассчитана на такой объем. В результате основание трассы было вымыто из-под асфальта, который провалился под собственной тяжестью (рис. 2, 3). Площадь разрушения асфальтовых трасс составила 3 тыс. из 40 тыс. м².

Необходимость предупреждения чрезвычайных ситуаций должна основываться на выявлении закономерностей развития опасных процессов и оценке их влияния на устойчивость ПТС. Решение задач оценки и прогноза развития природно-техногенных процессов возможно только на основе ориентированной на конкретные условия системы мониторинга.

Цель настоящей статьи — показать сложность инженерно-геологических условий строительства в пределах крутых склонов Самаровского останца в г. Ханты-Мансийске, потенциальную опасность развития инженерно-геологических процессов, определяющих функционирование природно-технической системы «Биатлонный комплекс», необходимость их углубленного изучения и постановки мониторинга. В рамках поставленной цели авторами решались следующие задачи: (1) выявление компонентов, определяющих нормальное функционирование ПТС «Биатлонный комплекс»; (2) разработка структуры данной ПТС для конкретных инженерно-геологических условий; (3) обоснование схемы комплексного мониторинга рассматриваемой ПТС.

Строительство сооружений различного назначения в пределах ранее неосвоенных участков увеличивает техногенное воздействие и приводит к активизации опасных природных и техноприродных процессов. Г.К. Бондарик, Л.А. Ярг, В.А. Королев, В.Т. Трофимов, В.В. Пендин, рассматривая научно-методические основы организации и функционирования мониторинга подобных объектов, считают, что они должны опираться

на положения теории систем, описывающей формирование, состояние и движение природно-технических систем [3–6].

Информация, используемая для организации системы мониторинга, должна быть «замкнутой» в границах рассматриваемой ПТС. По отношению ко времени ее получения она является накопленной и частично оперативной, полученной в результате специального обследования территории. По отношению к характеру оценок информация должна быть численной.

Прежде чем приступить к разработке композиции точек мониторинга, необходимо обосновать границы ПТС, ее иерархическую структуру, выяснить взаимодействия между компонентами системы и в конечном счете дать оценку интенсивности и характера движения ПТС, которые выражаются в виде пространственно-временной структуры и интенсивности развития природных и техноприродных процессов.

Природно-техническая система «Биатлонный комплекс»

Ханты-Мансийский центр зимних видов спорта имени А.В. Филипенко является стадионом международной категории по классификации IBU (Международного союза биатлонистов), на котором проходят соревнования по биатлону, летнему биатлону, лыжным гонкам, арчери-биатлону. Это круглогодично функционирующий объект, занимающий площадь 148 387 м², с общей протяженностью лыжных трасс более 15 км. Его общая вместимость — 15 000 зрителей, в т.ч. на стационарных трибунах — 9700 человек. Данный комплекс введен в эксплуатацию в 1997 г. В него входят детская спортивная школа, стадион, стрельбище и гостиничный комплекс.



Рис. 1. Расположение биатлонной трассы в г. Ханты-Мансийске



Рис. 2. Разрушения на биатлонной трассе (вид на трибуны)

На протяжении последних 5–6 лет Биатлонный комплекс неоднократно реконструировался. Только за период последней реконструкции 2010–2012 гг. было израсходовано 1 млрд 700 млн рублей бюджетных денег

Комплекс расположен на участке с абсолютными отметками 63–114 м на залесенных склонах Самаровского останца. Общий уклон поверхности в пределах биатлонной трассы составляет 30–40°. На некоторых участках он выволаживается за счет развития ряда природных процессов, в т.ч. плоскостной эрозии. Значительные уклоны приводят к увеличению скорости движения поверхностного стока по склонам как в периоды дождей, так и во время снеготаяния, что, в свою очередь, вызывает деформации инженерных сооружений.

Геологическое строение основания Биатлонного комплекса является сложным, что обусловлено:

- чередованием в разрезе и в плане пород различного генезиса и литологического состава (песчаных, глинистых, кремнисто-глинистых);
- наличием в верхней части разреза грунтов, обладающих тиксотропными свойствами, с низкой несущей способностью, а в нижней — специфических опоквидных глин;
- водонасыщенностью прослоев и линз песка, пронизывающих разрез толщи грунтов (рис. 4).

На склоне Самаровского останца, в пределах которого построен Биатлонный комплекс, широко развита овражная эрозия. Часть биатлонной трассы проходит по отвершкам оврага. В оврагах и отвершках развиты осыпи, оползни, донная эрозия, которые угрожают сооружениям комплекса.

Структуру ПТС «Биатлонный комплекс» предлагается представить в виде системы из нескольких иерархических уровней, главными элементами которой являются область взаимодействия геологической среды с комплексом сооружений (ОВ) и сами эти сооружения (рис. 5). Все составляющие условий функционирования ОВ характеризуются набором компонентов, которые определяют генетические особенности и тенденции изменения геологической среды. Они взаимосвязаны, взаимообусловлены, имеют определенную направленность действия и вес (вклад) при развитии тех или иных процессов [2].

Согласно теории сложно организованных систем модель ПТС «Биатлонный комплекс» должна обладать следующими свойствами: динамичностью, управляемостью, открытостью, устойчивостью, самоорганизацией и адаптацией. Однако адаптация и самоорганизация проявляются слабо. Обычно результатом внешнего воздействия является переход системы из одного состояния в другое или ее нарушение (рис. 6). Но именно эти свойства системы придают ей способность сохранять свою устойчивость в некотором диапазоне взаимодействий. Поддержание состояния ПТС в допустимых пределах и есть цель управления функционированием — в нашем случае предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Существующие взаимодействия в ПТС «Биатлонный комплекс» представлены на рис. 7. Из не-



Рис. 3. Разрушения на скоростном спуске биатлонной трассы

го видно, что нормальное функционирование системы должно быть обеспечено при условии работы технических сооружений в строгом соответствии с проектным режимом.

В свою очередь, надежность технической составляющей определяется режимом эксплуатации сооружений, состоянием области взаимодействия геологической среды с комплексом сооружений и характером ее влияния на инженерные сооружения.

Задачи и элементы мониторинга

Мониторинг ПТС «Биатлонный комплекс» будет решать следующие взаимосвязанные задачи:

- 1) определение состояния геологической среды в заданный отрезок времени;
- 2) проведение фоновых наблюдений на территории размещения объекта;
- 3) проведение сравнительного анализа данных, полученных при равновесном состоянии объекта, с данными, полученными при мониторинге;
- 4) определение источников воздействия на состояние геологической среды со стороны ОВ и сооружения;
- 5) оценка взаимодействия геологической среды и объектов Биатлонного комплекса;
- 6) определение уровня техногенных воздействий на геологическую среду;
- 7) прогноз реакции геологической среды на техногенные воздействия и возможного ущерба, наносимого ей как в процессе нормальной работы, так и при аварийных ситуациях на объектах Биатлонного комплекса.

Осуществление и, соответственно, структура мониторинга ПТС «Биатлонный комплекс» имеют свои особенности (рис. 8). Основу его структуры составляет автоматизированная информационная система.

Проект системы пунктов мониторинга ПТС «Биатлонный комплекс»

При проектировании сети пунктов мониторинга в пределах ПТС «Биатлонный комплекс» реализуется принцип, вытекающий из определения категории устойчивости геологической среды в области взаимодействия ПТС «Биатлонный



комплекс». При прочих одинаковых условиях эти пункты должны размещаться в местах, характеризующихся высокой степенью опасности.

При проведении мониторинга развития опасных природных и техноприродных процессов в ПТС «Биатлонный комплекс» контролируются:

1) факторы, влияющие на состояние геологической среды:

- температура воздуха,
- количество и характер атмосферных осадков,
- характер поверхностного стока,
- угол наклона склона,
- характер природных процессов, таких как оползнеобразование, оврагообразование, в пределах лыже-роллерных разминочных трасс, стрельбища и огневого рубежа;

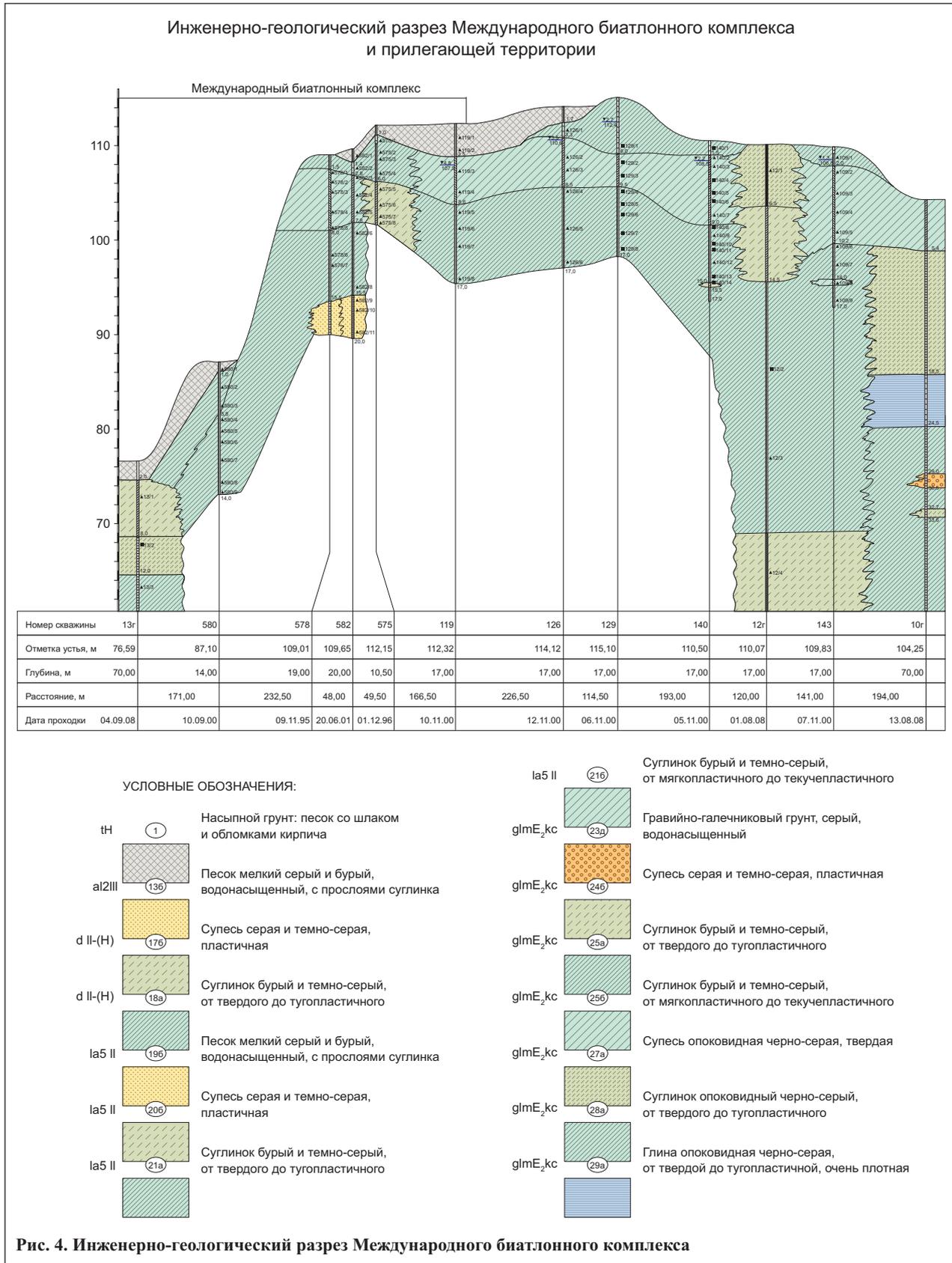
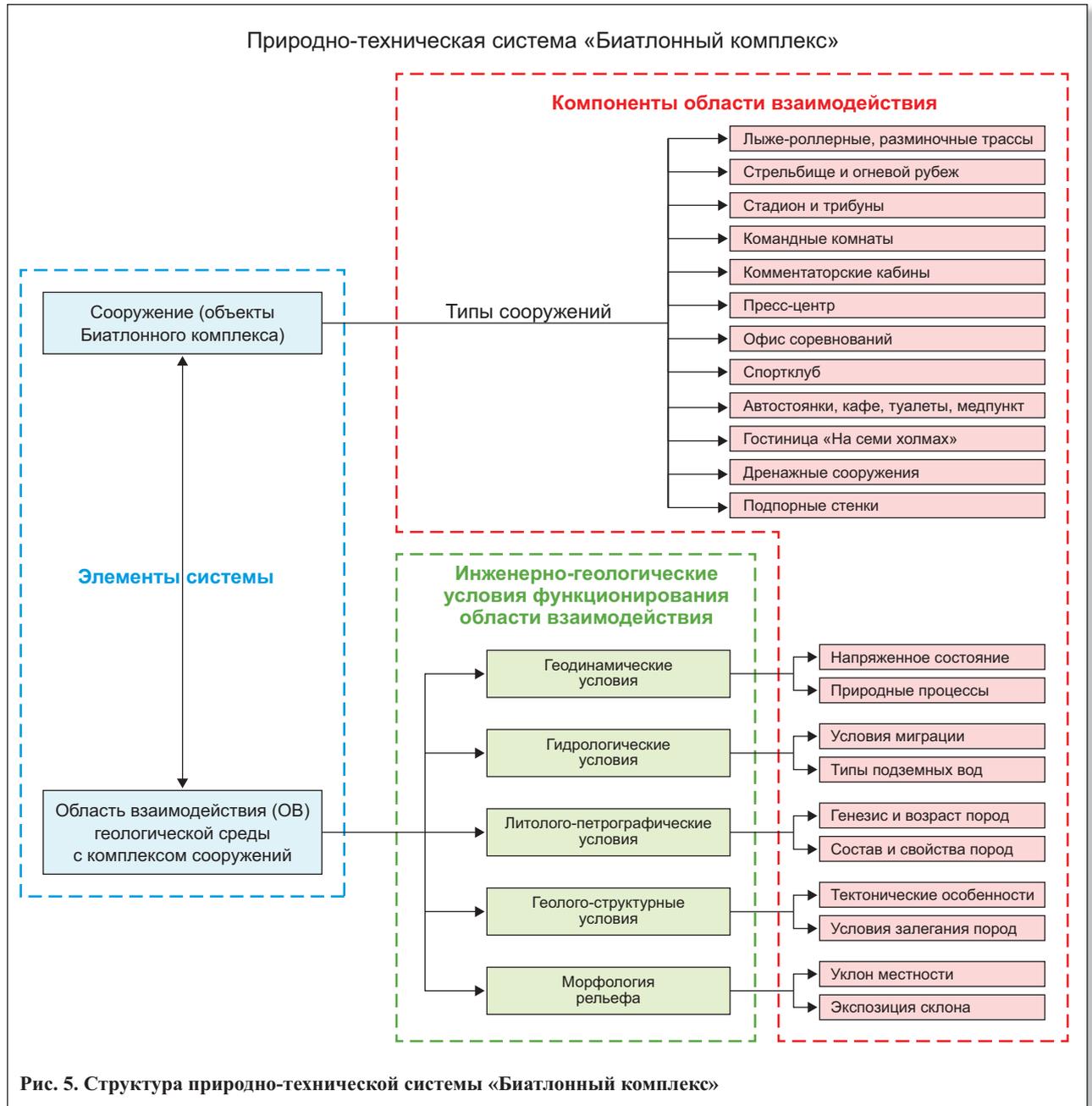


Рис. 4. Инженерно-геологический разрез Международного биатлонного комплекса



2) состояние элементов подпорных стенок, дренажей, гостиницы, лыже-роллерных разминочных трасс:

- вертикальные и горизонтальные перемещения (фиксируемые инструментально);
- трещины в стенах и фундаментах, перекосы проемов, крены зданий, трещины и понижения покрытий дорог, изгибы труб (обнаруживаемые визуально).

Мониторинг выполняется на ключевых участках, определенных по карте районирования, учитывая возможность развития опасных природных и техноприродных процессов. Для наблюдений на стационарных постах используются геодезические инструментальные методы. С этой целью оборудуется реперная сеть, устанавливаются стенные (на подпорных стенках) деформационные марки. Количество реперов и расстояния между ними должны быть такими, чтобы обеспечить возможность измерения вертикальных и горизонтальных перемещений. При этом



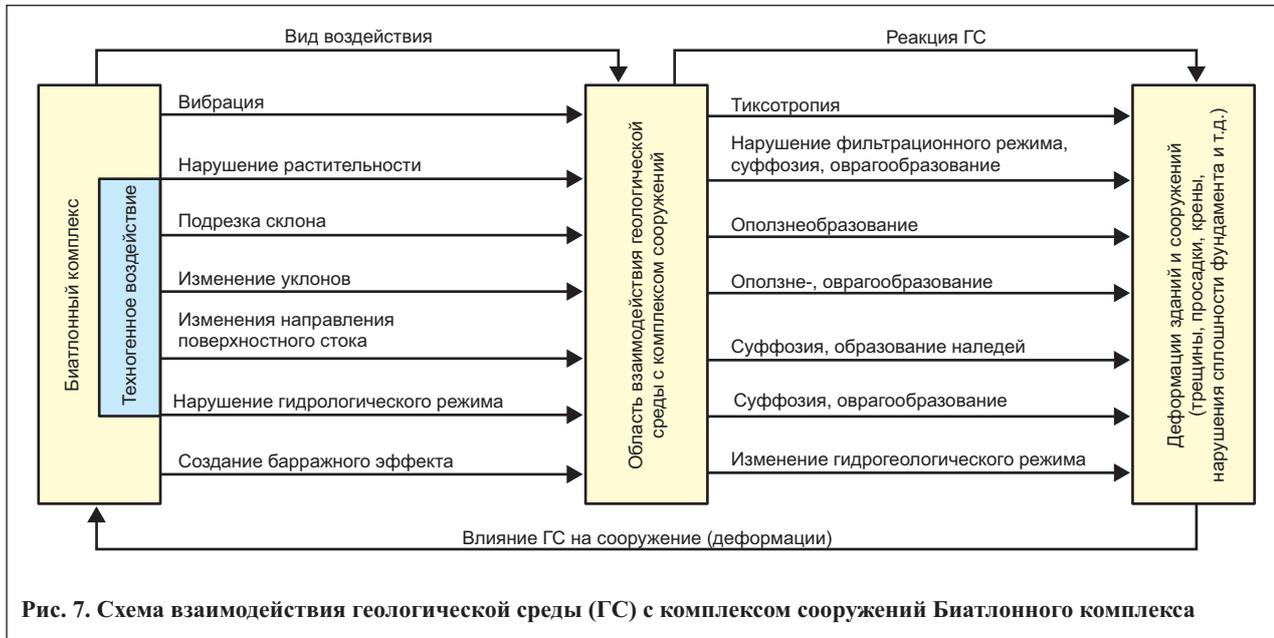


Рис. 7. Схема взаимодействия геологической среды (ГС) с комплексом сооружений Биатлонного комплекса

реперов в каждом пункте должно быть не меньше трех, а расстояние от репера до точки измерения не должно превышать 100 м. Измерения необходимо проводить в периоды весеннего и осеннего паводков с частотой 1 раз в 2 недели, а в зимний и летний периоды — 1 раз в месяц.

В зимний период необходимо контролировать распределение снежного покрова на стационарных постах. Для этой цели должны быть установлены снегомерные рейки.

Одним из основных методов наблюдений является маршрутное обследование как самого Биатлонного комплекса, так и прилегающих к нему территорий. Частота обследования — 1 раз в месяц. В процессе маршрутного обследования фиксируются все изменения на трассе, определяются места образования наледей.

Структура наблюдений при проведении мониторинга оптимизируется по мере накопления со-

ответствующей информации. Если результаты инструментальных или визуальных замеров будут указывать на отсутствие негативных процессов, то возможно уменьшение объектов и дискретности измерений. А при интенсификации подобных процессов объем наблюдений будет необходимо расширить. Наблюдения должны осуществляться в строгом соответствии с разработанной схемой и графиком проведения замеров.

Выводы

- 1) В структуре обоснованного принятия управляющих решений при проектировании, строительстве и эксплуатации ПТС, расположенных в пределах крутых склонов, особую роль играют компоненты инженерно-геологических условий и характеризующие их параметры, которые определяют причины, условия форми-

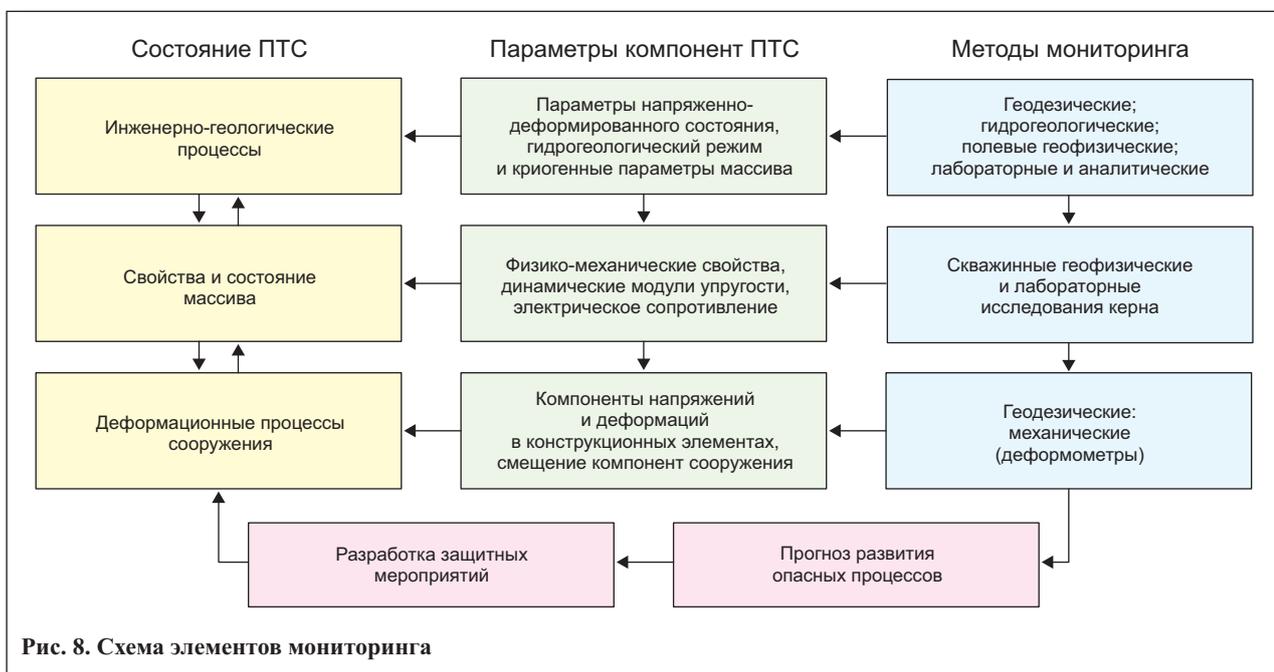


Рис. 8. Схема элементов мониторинга



рования процессов, закономерности и прогноз их развития, а также нормальное функционирование ПТС.

- 2) Наиболее эффективным, определяющим возможность предупреждения аварий и катастроф в сложившейся ПТС на всех этапах ее функционирования, является комплексный мониторинг, включающий в себя системы наблюдений за компонентами геологической среды и состоянием инженерных сооружений.
- 3) При проектировании сети пунктов мониторинга в пределах ПТС «Биатлонный комплекс», функционирующей в сложных ландшафтно-климатических и инженерно-геологических условиях с интенсивным развитием природных и техноприродных процессов, необходимо учитывать принцип, вытекающий из определения категории устойчивости геологической среды. При прочих одинаковых условиях эти пункты должны размещаться на участках пересечения лыжероллерных трасс с оврагами, оползнями, активной плоскостной эрозией, а также участках закрепления склонов подпорными стенками. ♣

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатурова И.В.* Небоскребы. Урал Приполярный // Югра. 2008. № 2. С. 44.
2. *Абатурова И.В.* Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей: монография. Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного горного университета, 2011. 225 с.
3. *Бондарик Г.К., Чан Мань Л., Ярз Л.А.* Научные основы и методика организации мониторинга крупных городов: монография. М.: Изд-во ОАО «ПНИИИС», 2009. 260 с.
4. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. М.: КДУ, 2007. 424 с.
5. *Пендин В.В.* Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии. М.: КДУ, 2009. 354 с.
6. *Трофимов В.Т., Шeko А.И., Федоренко В.С.* Долговременные прогнозы проявления экзогенных геологических процессов. М.: Наука, 1985. 152 с.

30 ноября 2012 г. на 84-м году жизни скончался Л.С. Амарян

Амарян Лено Самвелович родился 18 марта 1925 г. Окончил механический факультет Московского торфяного института в 1952 г. по специальности инженер-механик. По окончании института был направлен на Орехово-Зуевский завод «Торфмаш», где работал начальником литейного цеха, главным инженером, а затем директором.

В 1956 г. поступил в аспирантуру Торфяного института в г. Калинин, ныне г. Тверь, куда перешел работать ведущим конструктором НИСа. В 1961 г. защитил кандидатскую диссертацию.

С 1961 по 1964 гг. работал начальником НИСа Торфяного института (переименованного в Политехнический). С 1964 по 1966 гг. — старший научный сотрудник Калининского политехнического института.

В 1967 г. защитил докторскую диссертацию на тему «Структурно-механические свойства торфяных залежей», получив степень доктора технических наук.

В 1968 г. по конкурсу был зачислен на должность заведующего Кафедрой конструкций и сооружений Калининского политехнического института, и в том же году получил звание профессора. В 1973 г. им была организована новая кафедра «Основания и фундаменты».

С 1976 г. и до дня своей кончины Л.С. Амарян работал в ПНИИИСе в должности зав. отделом техники и технологий инженерных изысканий.

Л.С. Амарян — один из ведущих ученых в области структурно-механических свойств торфяных грунтов, награжден золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР. Л.С. Амарян автор 41 изобретения, более 200 научных трудов. Им опубликовано 3 крупных монографии в т.ч. «Прочность и деформируемость торфяных грунтов» (1969), «Свойства слабых грунтов и методы их изучения» (1990, на англ. языке, издательство «BALKEMA»). Им подготовлено свыше 35 кандидатов и докторов наук. Он являлся руководителем и участником разработки 20 нормативных документов, стандартов и рекомендаций по структурным свойствам слабых грунтов, широко используемых до настоящего времени изыскательскими организациями страны.

Имел правительственные награды. Медаль «За доблестный труд», медаль «Ветеран труда», медаль «В ознаменование 850-летия г. Москвы». За многолетний плодотворный труд и в связи с семидесятилетием, Л.С. Амаряну в 1999 г. было присвоено звание «Почетный строитель России».

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

Адрес редакции:

105187, Москва, Окружной проезд, д. 18.

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

E-mail: info@geomark.ru

