

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ М.И. КУЧИНА В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

В.Е. Ольховатенко, профессор

Томский государственный архитектурно-строительный университет,
г. Томск, Россия

Михаила Ивановича Кучина можно по праву назвать основоположником инженерной геологии Сибири. На всех этапах своего жизненного пути он исключительно большое внимание уделял изучению грунтов Западной Сибири. Им был заложен генетический подход к изучению грунтов и выявлению условий формирования их состава и физико-механических свойств. Михаилом Ивановичем впервые были проведены исследования грунтов на площадке строительства Кузнецкого металлургического завода и других крупных строек в Западной Сибири. Одновременно были установлены закономерности изменения физико-механических свойств различных генетических типов грунтов. Много внимания Михаил Иванович уделял исследованиям грунтов применительно к железнодорожному строительству. Ещё в 1925 году он занимался исследованиями оползней в Крыму, а в последующем и оползнями на территории г.Томска.

М.И. Кучин был не только крупным ученым в области инженерной геологии, но и непосредственно руководил изысканиями, консультировал по вопросам взаимодействия грунтовых оснований с фундаментами. В его многогранной научной деятельности применялся комплексный подход к исследованиям грунтов и оценке условий строительства различных сооружений. Михаил Иванович рассматривал грунтовое основание, фундаменты, конструкции зданий и сооружений как единую геотехническую систему.

Важную роль в исследованиях грунтов Западной Сибири сыграла созданная М.И. Кучиным проблемная лаборатория при кафедре инженерной геологии, оснований и фундаментов в Томском инженерно-строительном институте, где проводились всесторонние исследования минералогического и химического состава грунтов, их физико-механических свойств.

Большое место в планах работы проблемной лаборатории кафедры инженерной геологии, оснований и фундаментов занимали исследования по моделированию напряженно-деформированного состояния грунтовых оснований и по проблемам фундаментостроения в Западной Сибири.

Выдвинутые М.И. Кучиным научные идеи нашли свое дальнейшее развитие в исследованиях кафедр инженерно геологии, оснований и фундаментов, а в последующем кафедры инженерной геологии и геоэкологии. Начиная с 1968 года в Томском инженерно-строительном институте развивается новое научное направление, связанное с выявлением закономерностей формирования инженерно-геологических условий крупных угленосных провинций Сибири и Дальнего Востока и решением проблемы устойчивости бортов глубоких карьеров. Появление этого научного направления потребовало создания новых научных лабораторий и оснащения их современным оборудованием, что было сделано в кратчайшие сроки.

Научным коллективом кафедры инженерной геологии и геоэкологии на договорной основе были выполнены инженерно-геологические исследования на территории Кузнецкого, Канско-Ачинского, Горловского угольных бассейнов, а также угольных месторождений Иркутской области, Дальнего Востока и о.Сахалин. На основании этих исследований была разработана теория формирования физико-механических свойств горных пород угленосных отложений при литогенезе, выявлены закономерности их пространственной изменчивости, дана количественная оценка устойчивости бортов глубоких карьеров и произведена типизация угольных месторождений по условиям разработки открытым способом.

- Одним из крупнейших в России, где широко применяется открытый способ разработки угольных месторождений является Кузнецкий угольный бассейн. Наиболее крупными в Кузбассе являются Бачатский, Талдинский, Уропский, Ерунаковский Южный углеразрезы. Выполненные нами исследования показали, что ведущими природными факторами, влияющими на разработку месторождений открытым способом являются геолого-структурные особенности месторождений, тектоника, состав, степень литогенетических преобразований и физико-механические свойства пород. В процессе исследований детально изучены состав и физико-механические свойства горных пород балахонской ($C_{2,3}P_1be$), кольчугинской (P_2), тарбаганской ($J_{1,2}$) серий и четвертичного возраста (Q_{III-IV}). При этом была установлена четкая зависимость физико-механических свойств пород от стадии литогенетических преобразований, что позволило впервые разработать инженерно-генетическую классификацию пород и типизацию угольных месторождений Кузбасса. Среди выделенных типов наиболее сложными в инженерно-геологическом отношении являются месторождения Присалаирской и Прикольвань-Томской зон интенсивной линейной складчатости, для которых характерна сложная тектоника, наличие кулискообразных брахискладок с падением крыльев 60-90° изменения напряженно-деформированного состояния горных пород в бортах карьеров;

- изменения физико-механических свойств горных пород, особенно их прочностных характеристик;
- техногенное воздействие на горные породы при работе горно-транспортного оборудования;
- система и технология разработки угольных месторождений открытым способом;
- сейсмические воздействия при производстве буровзрывных работ в бортах карьеров.

Наряду с исследованиями на угольных месторождениях Сибири в последние годы кафедрой инженерной геологии и геоэкологии проводятся исследования на золоторудных месторождениях Дальнего Востока. Одним из крупных в этом регионе является Айнское золоторудное месторождение на о.Уруп, разработка которого ведется открытым способом. С целью обеспечения геоэкологической безопасности при разработке месторождения открытым способом были проведены детальные инженерно-геологические исследования и расчеты устойчивости

бортов карьеров.

Айнское золоторудное месторождение расположено в южной части о. Уруп, который является составной частью Большой Курильской гряды. Среди природно-климатических факторов наибольшее влияние на разработку месторождения открытым способом будут оказывать климат, геологическое строение, состав и физико-механические свойства горных пород.

В геологическом строении месторождения принимают участие следующие стратиграфо-генетические комплексы пород:

- современные четвертичные отложения (Q_{III});
- вулканогенно-осадочные и осадочные отложения рыбаковской свиты (N_3rb);
- субвулканические образования рыбаковского вулканического андезитового комплекса (eN_3rb);
- гидротермально измененные породы.

Четвертичные отложения представлены глинистыми породами и щебенистым грунтом, имеют небольшую мощность и существенного влияния на устойчивость бортов карьеров оказывать не будут. Отложения рыбаковской свиты представлены туффитами, имеющими горизонтальные или наклонные (7-10%) залегания. Субвулканические образования рыбаковского андезитового комплекса содержат в своем составе андезиты, базальты, диориты, дациты. Гидротермально измененные породы представлены кварцитами, кварцевыми метасоматитами, аргиллизитами, тектонической брекчией.

На основании проведенных исследований выделено 13 инженерно-геологических типов пород (таблица 1).

Таблица 1

№ п.п.	Типы пород	Физико-механические свойства				
		γ	s	s	j	C , МПа
1	2	3	4	5	6	7
1	Туффиты псефитовые	<u>2,00-2,50</u> 2,21	<u>1,38-26,80</u> 8,23	<u>0,23-4,50</u> 1,39	<u>22-35</u> 30	<u>0,37-8,00</u> 2,28
2	Туффиты псаммитовые	<u>2,05-2,27</u> 2,17	<u>1,80-36,0</u> 11,38	<u>0,30-6,00</u> 1,89	<u>27-42</u> 33	<u>0,50-2,25</u> 1,58
3	Туффиты алевро-псаммитовые	<u>2,37-2,68</u> 2,52	<u>1,79-36,4</u> 19,09	<u>0,29-6,07</u> 3,18	<u>34-36</u> 35	<u>0,42-8,70</u> 4,56
4	Туффиты аргиллизированные	<u>2,30-2,36</u> 2,34	<u>3,96-16,88</u> 11,33	<u>0,66-2,81</u> 1,88	<u>30-38</u> 32	<u>0,75-5,00</u> 3,18
5	Аргиллизиты по туффитам	<u>2,07-2,59</u> 2,24	<u>1,48-21,0</u> 6,31	<u>0,24-5,32</u> 1,32	<u>25-45</u> 33	<u>0,60-5,80</u> 1,72
6	Аргиллизиты по псефитовым туффитам	<u>2,18-2,42</u> 2,32	<u>0,72-6,19</u> 3,25	<u>0,12-1,26</u> 0,59	<u>29-36</u> 32	<u>0,18-1,75</u> 0,86
7	Аргиллизиты по псаммитовым туффитам	<u>2,36</u> 2,36	<u>0,72-5,33</u> 3,02	<u>0,12-0,75</u> 0,43	<u>32-34</u> 33	<u>0,18-1,50</u> 0,84
8	Продвинутые аргиллизиты	<u>1,94-2,53</u> 2,25	<u>2,60-21,50</u> 8,76	<u>0,43-3,50</u> 1,47	<u>30-43</u> 35	<u>0,60-4,30</u> 2,00
9	Андезиты	<u>2,39-2,70</u> 2,26	<u>8,13-27,81</u> 18,68	<u>2,32-8,61</u> 4,19	<u>34-40</u> 35	<u>2,00-7,00</u> 4,85
10	Дациты	<u>2,31-2,40</u> 2,36	<u>2,10-6,72</u> 3,99	<u>0,35-1,12</u> 0,79	<u>27-33</u> 31	<u>0,62-1,75</u> 1,04
11	Кварцевые метасоматиты	<u>2,18-2,32</u> 2,24	<u>2,56-22,37</u> 12,69	<u>0,43-3,71</u> 2,20	<u>38-40</u> 39	<u>0,55-6,00</u> 2,68
12	Тектоническая брекчия	<u>2,47-2,63</u> 2,55	<u>2,30-6,60</u> 4,45	<u>0,60-1,10</u> 0,85	<u>39</u> 39	<u>0,50-1,50</u> 1,0
13	Вторичные кварциты	<u>2,12-2,25</u> 2,18	<u>14,7-24,10</u> 19,40	<u>2,40-4,00</u> 3,20	<u>35</u> 35	<u>4,00-7,00</u> 5,50

Среди них наиболее прочными оказались вторичные кварциты для которых среднее значение предела прочности на одноосное сжатие изменяется от 14,7 до 24,10 МПа, при среднем значении 19,4 МПа. По своим прочностным характеристикам близки к кварцитам андезиты, среднее значение предела прочности на одноосное сжатие которых 18,68 МПа, угла внутреннего трения 35°

Таблица 2

Р.Л.	Скважина	Борта карьера	Средневзвешенные расчетные характеристики			Коэффициент устойчивости	
			u	j	C, МПа	Без учета сейсмичности	С учетом сейсмичности
82	281	Правый	23,8	29,7	20,6	1,59	1,23
	282	Левый	23,2	31,8	25,5	1,62	1,25
90	215	Правый	22,1	29,7	19,6	1,92	1,41
	225	Левый	28,6	28,6	18,3	1,60	1,21

Как видно из приведенных данных коэффициент устойчивости без учета сейсмичности для правого борта (линия 82, скв. 281), составляет 1,59, для левого борта -1,62. По разведочной линии 90 имеем коэффициент устойчивости 1,92 (правый борт) и 1,60 (левый борт). С учетом сейсмичности коэффициент устойчивости снижается до 1,21 для левого борта по линии 90 и 1,23 для правого борта по линии 82. Выше оказался коэффициент устойчивости для правого борта по линии 90, его величина составляет 1,41. Полученные расчетами коэффициенты устойчивости оказались выше нормативных значений.

Отсюда можно сделать вывод, что устойчивость бортов карьера на весь период отработки золоторудного месторождения будет обеспеченной.

Исключительно актуальное значение приобретает проблема устойчивости бортов карьеров при разработке открытым способом Союзного месторождения графита в Еврейской автономной области.

В геологическом строении территории предполагаемого строительства карьера принимают участие четвертичные отложения, метаморфические и магматические породы палеозойского возраста.

Литологически метаморфические породы представлены мелкозернистыми кварцитовидными, гнейсовыми, кварцито-полевошпатовыми сланцами, метаморфизованными известняками и амфиболитами. Магматические породы представлены пегматитами.

Физико-механические свойства перечисленных литологических типов пород представлены в таблице 3.

Таблица 3

№ п.п.	Типы пород	Физико-механические свойства				
		r	s	s	j	C, МПа
1	Щебенистый и дресвяной грунт коры выветривания	2,05	-	-	28	0,0209
2	Сланец мелкозернистый графитовый	<u>2,41-3,25</u> 2,73	<u>4,866-64,94</u> 28,64	<u>0,81-10,62</u> 4,76	<u>27-39</u> 32	<u>2,7-16,2</u> 7,36
3	Сланец кварцитовидный графитизированный	<u>2,76-3,05</u> 2,87	<u>39,13-127,9</u> 84,28	<u>6,52-21,3</u> 14,04	<u>28-36</u> 33	<u>10-35</u> 22,87
4	Сланец гнейсовидный графитовый	<u>2,56-2,72</u> 2,63	<u>15,89-149</u> 90,52	<u>6,28-24,83</u> 15,09	<u>27-36</u> 32	<u>4,1-40</u> 25,75
5	Сланец мелкозернистый графитистый	2,76	<u>57,15-126,2</u> 91,67	<u>9,52-21,03</u> 15,27	<u>28-37</u> 32	<u>17,5-30</u> 23,75
6	Сланец кварцитовидный графитистый	<u>2,789-2,815</u> 2,78	<u>96,28-146,3</u> 114,28	<u>16,05-24,38</u> 19,05	<u>33-38</u> 36	<u>25-40</u> 30
7	Кварц-полевошпатовые сланцы	<u>2,39-3,02</u> 2,75	<u>54,5-161,4</u> 93	<u>22,9-39,3</u> 29,7	31	26,6
8	Амфиболиты	<u>2,64-3,07</u> 2,74	<u>46,19-177,8</u> 99,78	<u>7,69-29,583</u> 16,63	<u>30-39</u> 30	<u>9-40</u> 26,06
9	Кварциты	<u>2,689-3,27</u> 2,94	<u>68,84-127,3</u> 91,79	<u>11,47-16,55</u> 15,29	<u>28-37</u> 32	<u>15-35</u> 24,58
10	Пегматиты	<u>2,51-2,89</u> 2,66	<u>20,48-142,2</u> 78,01	<u>6,84-23,7</u> 12,98	<u>28-38</u> 32	<u>12,5-40</u> 19,37
11	Известняк мраморизованный	<u>2,789-3,105</u> 2,95	<u>19,74-58,06</u> 42,86	<u>3,29-9,68</u> 7,14	<u>33-36</u> 34	<u>5,0-15</u> 10,93
12	Известняк метаморфизованный	<u>2,67-3,04</u> 2,84	<u>50,8-96,5</u> 75,4	<u>11,1-26,3</u> 19,3	38	18,4

Как видно из таблицы, среди выделенных типов пород наибольшей прочностью характеризуются сланцы кварцитовидные, для которых среднее значение предела прочности на одноосное сжатие составляет 114,28

МПа, угла внутреннего трения 36° , а удельного сцепления 30 МПа.

Наименьшей прочностью характеризуются мелкозернистые графитовые сланцы, для которых предел прочности на одноосное растяжение не превышает 10,62 МПа, а среднее его значение составляет 4,76 МПа. Среднее значение предела прочности на одноосное сжатие составляет 28,64 МПа.

Учитывая инженерно-геологические особенности месторождения для проведения расчетов устойчивости бортов использовался метод криволинейной поверхности, близкой к логарифмической спирали. Результаты расчетов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Расчетная линия	Участок карьера	Борта карьера	Высота, м	Угол наклона, град.	Коэффициенты устойчивости	
					без учета сейсмичности	с учетом сейсмичности
1-1	Южный	левый	130	48	1,24	1,16
1-1	Южный	правый	120	45	1,70	1,59
1-1	Северный	правый	125	50	1,41	1,26
2-2	Южный	левый	98	54	1,34	1,25
3-3	Северный	правый	140	49	1,33	1,19
А-А	Перспективный контур карьера. Западный участок карьера.	правый	170	26	1,51	1,42
А-А	Перспективный контур карьера. Восточный участок.	левый	138	28	2,13	1,59
А-А	Перспективный контур карьера. Восточный участок.	правый	154	47	1,43	1,18
	Правый борт карьера 1 очередь		60	59	1,92	1,79
	Устойчивость уступа при погашении (правый борт карьера 1 очереди)		20	70	4,40	4,30

Из приведенных данных видно, что полученные коэффициенты устойчивости превышают нормативные значения. На основании этого можно сделать вывод, что устойчивость бортов карьеров Союзного месторождения графита при сейсмических воздействиях будет обеспеченной.

Исключительно важная роль принадлежит М.И. Кучину в изучении инженерно-геологических условий территории г.Томска. Особое внимание он уделял изучению опасных геологических процессов и оценке их влияния на городскую застройку. Дальнейшее развитие данного направления получило на кафедре инженерной геологии и геоэкологии при реализации целевой комплексной программы «Инженерная защита территории г.Томска от опасных природных процессов».

Развитие на территории г. Томска опасных природных и техноприродных процессов приводят к нарушению динамического равновесия в эксплуатации природно-технических систем и возникновению чрезвычайных ситуаций.

Выполненные нами исследования [2,3] показали, что наибольшую опасность при застройке территории г. Томска представляют оползни, эрозионные процессы, оврагообразование и подтопление территорий. Оползнеопасными в г. Томске являются территории Лагерного Сада, мкр. «Солнечный», Каштачной и Воскресенской гор.

Преимущественным развитием на территории Лагерного Сада пользуются оползни вязкопластического течения и сдвига. Основной причиной развития оползней является обводнение грунтового массива за счет подземных вод неоген-палеогенового водоносного горизонта. Комплексным проектом противооползневых мероприятий предусматривалось устройство вертикального дренажа, уположивание склона, строительство дренажных прорезей, удерживающих сооружений, контрбанкета, упорядочение поверхностного стока. Для осушения неоген-палеогенового водоносного горизонта была запроектирована дренажная горная выработка (ДГВ). К настоящему времени не все запроектированные мероприятия выполнены в полном объеме. В период изысканий и проектирования не учитывались возможные изменения напряженно-деформированного состояния грунтов склона в процессе эксплуатации ДГВ. Оценка степени опасности и уровня риска от воздействия ДГВ на геологическую среду не осуществлялось, что привело к формированию ослабленных зон на участках провалов грунтов. Прокладка ДГВ в юго-восточном направлении осложняется наличием тектонических разломов, которые послужили причиной поступления напорных вод из нижележащего горизонта. Отсутствие нормальной эксплуатации и своевременного ремонта приводит к разрушению конструкций ДГВ, снижению эффективности осушения. Это в свою очередь способствует замачиванию грунтов, снижению их прочностных характеристик и устойчивости склона.

Обследование ДГВ показало, что значительная часть фильтров не работает из-за их кальматации, что приводит к повышению уровня подземных вод. Общей проблемой территории Лагерного Сада является отсутствие

мониторинга за природно-техническими системами и изменением напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Концентрация напряжений в грунтах по оси штольни, их увлажнение при повышении уровня подземных вод может послужить причиной активизации оползневых процессов на рассматриваемой территории.

Оползневые процессы на территории мкр. «Солнечный» связаны со строительством двух 10-ти этажных жилых домов на оползнеопасном склоне. Наряду с природными факторами на развитие оползневых процессов большое влияние оказали техногенные факторы:

- пригрузка склона при строительстве 10-ти этажных домов;
- техногенное обводнение грунтового массива;
- замачивание грунтов за счет скопления воды в котловане, вырытом для строительства детского сада;
- отсутствие дренажно-ливневой канализации.

Геологическое строение территории характеризуется распространением слаболитифицированных горных пород четвертичного и неоген-палеогенового возраста, преимущественно-глинисто-суглинистого состава, что и предопределило ход оползневого процесса. Существенный вклад в него внесли подземные воды, разгрузка которых осуществляется у подножия склона. Гидродинамическое давление подземных вод и широко развитая суффозия привели к изменению напряженно-деформированного состояния грунтового массива и снижению прочностных показателей. Это, в свою очередь, стало причиной глубинной ползучести глинистых грунтов. На данной стадии (первой стадии развития оползней) в теле грунтового массива образовались области концентрации касательных напряжений. В пределах потенциальной поверхности скольжения происходили деформации вдоль линии ползучести, происходило перераспределение касательных напряжений, что вызвано изменением коэффициента бокового давления. Фаза глубинной ползучести, по-видимому, длится довольно продолжительное время, а затем происходит в сравнительно быструю фазу разрушения. По всей вероятности, этому способствовало замачивание грунтов, а также резкое увеличение касательных напряжений, в грунтовом массиве, которые превышали сопротивление грунтов сдвигу. Коэффициент мобилизационного сопротивления сдвигу превысил его значение на пределе разрушения. В процессе последующего оползания грунтового массива к подножию склона были перекрыты все выходы подземных вод на дневную поверхность. Фильтрация из основного водоносного горизонта оказалась затруднена, что привело к подпору грунтового массива подземными водами в нижних частях склона, это, в свою очередь, послужило причиной дальнейшего развития оползневого процесса. Именно таким представляется механизм формирования древних (первичных) оползней.

Выявленные закономерности развития опасных процессов и составленная карта зонирования территории г. Томска по степени опасности и уровню риска использованы при решении следующих градостроительных проблем:

- прогнозной оценке геоэкологических и инженерно-геологических условий строительства объектов;
- разработке мероприятий по инженерной защите территорий, расположенных в зонах риска;
- подготовке комплексной целевой программы мониторинга природно-технических систем.

Литература

1. Ольховатенко В.Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна. – Томск: Изд-во Том.гос.архит.-строит.ун-та, 2014. – 150 с.
2. Ольховатенко В.Е., Рутман М.Г., Лазарев В.М. Опасные природные и техноприродные процессы на территории г.Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем. – Томск. Печатная мануфактура, 2005. – 152 с.
3. Ольховатенко В.Е., Чернышова Н.А., Краевский А.А. Геоэкологическая оценка и прогноз осадок грунтовых толщ при длительном водопонижении на оползнеопасной территории Лагерного сада г.Томска. – Томск: Изд-во Том.гос.архит.-строит.ун-та, 2013. – 124 с.