



Библиографический список

1. Ваганов П.А. Экологические риски: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Просвещение, 1995. 168 с.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска. Введ. 01.12.2012 / Национальный стандарт Российской Федерации. М.: АНО «НИЦКД».
3. СТП 581-6.7-002-2006 СУОТ. Идентификация опасностей, оценка и контроль рисков // Справочник специалиста по охране труда. М.: Издательский дом ЗАО «МЦФЭР», 2008. № 1.
4. Проектная документация «Завод по производству ГКЛ мощностью 60 млн м²/год» (ООО «КНАУФ ГИПС БАЙКАЛ»). Иркутск, 2012.
5. Аттестация рабочих мест (ООО «КНАУФ ГИПС БАЙКАЛ»). Иркутск, 2013.
6. Тимофеева С.С., Хамидуллина А.А. Основы теории риска: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. 128 с.
7. Евсеев А.Я., Макаров П.В., Борисов А.Ф. Оценка и управление профессиональным риском: учеб. пособие. Н. Новгород: Изд-во ННГАСУ, 2009. 138 с.

УДК 624.131.1. (571.5)

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ В РАЙОНЕ УДОКАНА (НА ПРИМЕРЕ ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ)© Т.Г. Рященко¹, С.А. Тирских², Т.А. Корнилова³^{1,2,3}Институт земной коры СО РАН,

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

^{1,2}Иркутский государственный технический университет,

664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Рассматриваются результаты изучения физико-механических свойств протерозойских песчаников, распространенных на строительной площадке в районе пос. Удокан Забайкальского края. В разрезах скважин на базе геологической документации выделены инженерно-геологические элементы с оценкой опасных признаков; при обработке данных о плотности, прочности и водостойкости грунтов, полученных в процессе изысканий, применены программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ»; впервые изучены структурно-текстуальные особенности пород в петрографических шлифах; сделаны выводы о факторах прочности исследованных объектов.

Ключевые слова: инженерно-геологический элемент; песчаник; плотность; прочность; программы; структура; текстура.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF HARD ROCK GROUNDS OF THE UDOKAN REGION BUILDING SITE (FOR THE CASE OF PROTEROZOIC SANDSTONES)

T.G. Ryashchenko, S.A. Tirskikh, T.A. Kornilova

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

Irkutsk State Technical University,

83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

The article discusses the results of studying physico-mechanical properties of Proterozoic sandstones frequently occurring on a building site located near the Udokan settlement in the Trans-Baikal region. On the basis of geological records, engineering and geological elements have been identified in well-logs with the estimation of hazardous characteristics. The obtained data on density, strength and water-resisting properties of investigated grounds have been processed with the use of the "Standard Statistics" and "Cluster analysis" programs. It is the first time when structural and textural features of rocks are studied in petrographic microsections. The conclusions on the strength factors of the studied objects are derived.

Keywords: engineering and geological element; sandstone; density; strength; programs; structure; texture.

Введение. Инженерно-геологические изыскания выполнялись на строительной площадке в районе Удокана, где, согласно программе работ, в апреле 2014 г. были пробурены скважины глубиной 25–52 м, которые вскрыли метаморфизованные песчаники про-

терозоя. В составлении технического отчета по результатам первого этапа исследований принимала участие инженер Центра геоэкологических исследований (ЦГЭИ) НИ ИрГТУ С.А. Тирских, аспирант заочного обучения Института земной коры СО РАН (ИЗК СО

¹Рященко Тамара Гурьевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры прикладной геологии Института недропользования, тел.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Ryashchenko Tamara, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher, Professor of the Department of Applied Geology of the Institute of Subsoil Use, tel.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

²Тирских Светлана Андреевна, аспирант, инженер Центра геоэкологических исследований, тел.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Tirskikh Svetlana, Postgraduate, Engineer of the Center of Geoecological Studies, tel.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

³Корнилова Татьяна Александровна, главный специалист, тел.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Kornilova Tatyana, Chief Specialist, tel.: (3952) 426133, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru



РАН). Используются данные документации разрезов трех скважин (1А-5, 1В-4, 1С-2 – выполнено геологами Е. Марчук и А. Лысенко) и результаты определения физико-механических свойств песчаников (материалы ЦГЭИ НИ ИргТУ). По материалам документации авторами выделены инженерно-геологические элементы (ИГЭ) и с помощью условных индексов (метод экспертных оценок) представлена характеристика их опасных признаков, которые понижают степень устойчивости грунтовых толщ площадки. При обработке данных о плотности, прочности и водостойкости скальных грунтов применялись программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ», кроме того, впервые были изучены структурно-текстуальные особенности пород в петрографических шлифах. Полученные комплексные материалы позволили сделать некоторые выводы о факторах прочности исследованных объектов [1–4].

Выделение инженерно-геологических элементов (ИГЭ). При документации в разрезах выделены зоны дробления и участки различной степени макротрещиноватости песчаников (слабая – менее 14 трещин в пределах интервала; 14–85 – средняя; более 85 – сильная); прочность оценивалась визуально: прочные, средней прочности и мало прочные разновидности. Песчаники серого цвета, мелкозернистые, полосчатые, со следами метаморфизма (отмечено окварцевание, эпидотизация, хлоритизация); супесчано-глыбовая зона (делювиальный современный комплекс) с включениями льда достигает 2,5–5,0 м. В каждой скважине по различным «опасным» признакам выделяются особые участки (зоны), которые можно считать инженерно-геологическими элементами (ИГЭ). Так, для 1А-5 установлено восемь таких зон, 1В-4 – семь, 1С-2 – девять.

Определение степени опасности признаков выполнено методом экспертных оценок в интервале шкалы условных индексов от единицы до шести (1–6): чем больше индексов набирает разрез, тем он менее устойчив. Наибольшую опасность представляют зоны дробления, присутствующие в толще скальных грунтов, 6 условных индексов; далее – льдообразование (многолетняя мерзлота) или следы разломной тектоники – 5; наличие глыбовой зоны (современный делювий) или выветрелых песчаников среднетрещиноватых – 4; появление маломощных дисперсных зон – 3. Опасность снижается до двух индексов, если глыбовая зона делювия небольшая (до 2,5 м); прочные окварцованные слабо трещиноватые песчаники получают 1 индекс. В качестве примера приводится характеристика ИГЭ скв. 1А-5 (табл. 1).

К числу опасных признаков относятся: присутствие двух зон дробления, расположенных в верхней (интервал 6,1–9,7 м) и нижней (интервал 18,2–20,9 м) частях разреза; льдообразование до глубины 20,9 м в виде линз, цементирующей массы и заполнителя трещин в песчаниках; достаточно мощный (до 5 м) глыбовый современный делювий с линзами льда. Аналогичные таблицы составлены по данным документации остальных разрезов. Для скв. 1В-4 общая сумма условных индексов для выделенных семи ИГЭ равна 20. К числу опасных признаков относится присутствие среди скальных грунтов маломощных (10–20 см) прослоев сильно выветрелых разновидностей с «гнездами» вторичного эпидота. Кроме того, на глубине 22,4 м в темно-серых песчаниках зафиксирован «тектонический шов» (зона разлома), выполненный глиной трения. Лед обнаружен только в трещинах глыб песчаников делювиальной зоны мощностью

Таблица 1

Инженерно-геологические элементы (ИГЭ) и их характеристика, скв. 1А-5

ИГЭ	Н, м	Описание	N
1	0,0–4,9	Глыбовая зона (dQ ₄) – супесь, щебень с линзами льда и глыбами серых, мелкозернистых, полосчатых выветрелых песчаников	5
2	4,9–6,1	Песчаники средней прочности, слаботрещиноватые	1
3	6,1–9,7	Зона дробления – дресва, супесь, единичные глыбы песчаников с многочисленными (до 42) трещинами; толща сцементирована льдом	6
4	9,7–12,9	Выветрелые песчаники средней прочности, средне трещиноватые (14 трещин, заполненных льдом); два образца – 1А-5 – 9,9м (шлиф № 1); 1А-5 – 11,5 м (шлиф № 2)	4
5	12,9–17,5	Песчаники серые, мелкозернистые, полосчатые, окварцованные, прочные, среднетрещиноватые; образец 1А-5 – 15,2 м	1
6	17,5–18,2	Песчаники серые, мелкозернистые, окварцованные, полосчатые, прочные, слаботрещиноватые	1
7	18,2–20,9	Зона дробления – крупный щебень (2,5–20,0 см) серых мелкозернистых полосчатых песчаников, глыбы этих пород с многочисленными трещинами шириной до 25 см, заполненными супесью и дресвой, сцементированных льдом	6
8	20,9–28,0	Песчаники серые, мелкозернистые, полосчатые, окварцованные, прочные, слаботрещиноватые (12 трещин шириной до 3 мм, заполненных супесью)	1
Общая сумма условных индексов (Σ)			25

Примечание. Сква. 1А-5 пробурена 12–13 апреля 2014 г., глубина 28,0 м; абс. отм. 1607,97 м; Н – интервал выделенного ИГЭ; N – количество условных индексов.



3,8 м. Для скв. 1С-2 общая сумма индексов для выделенных девяти ИГЭ равна 22. К числу опасных признаков относится чередование в разрезе прочных и мало прочных (сильно трещиноватых) разновидностей пород, кроме того, в нижней части скважины (27,3–52,0 м) среди слабо окварцованных, прочных и средней прочности песчаников обнаружена зона дробления мощностью 2,0 м (27,3–29,3 м). Таким образом, наиболее «опасным» разрезом является скв. 1А-5 (25 индексов). Тем не менее, отрицательные (по устойчивости) признаки обнаружены и в других исследованных разрезах ($\Sigma=20-22$). Предложенный способ оценки ИГЭ в толще скальных грунтов на основе их геологической документации – дополнительная информация при инженерно-геологическом изучении объекта изысканий.

Физико-механические свойства песчаников (анализ материалов). Данные о природной влажности, плотности и прочности скальных грунтов получены в ЦГЭИ НИ ИргТУ, они включены в отчет первого этапа исследований. Авторами статьи отобрано 16 образцов ненарушенной структуры (керна), из числа которых для 10 объектов имеются определения природной влажности, плотности, прочности на растяже-

ние и сжатие в условиях природной влажности и при водонасыщении (табл. 2). Кроме того, В ИЗК СО РАН впервые были изготовлены и описаны петрографические шлифы (10 образцов, они указаны при выделении в разрезах ИГЭ).

Природная влажность песчаников ничтожна – 0,2%, природная плотность при этом составляет 2,58–2,83 г/см³ (табл. 2). Определены пределы прочности на растяжение ($R_p=15,3-38,6$ МПа) и одноосное сжатие ($R=92,9-151,4$ МПа) в условиях природной влажности; аналогичные определения выполнены для тех же образцов в водонасыщенном состоянии ($R_{p1}=10,3-29,4$ МПа; $R_1=77,7-137,5$ МПа); рассчитаны коэффициенты размягчаемости (в долях единицы) по результатам растяжения ($K_{pA}=0,53-0,96$) и одноосного сжатия ($K_{pB}=0,67-0,97$).

При сопоставлении прочности песчаника на одноосное сжатие и растяжение четко устанавливается анизотропия этого свойства: коэффициент анизотропии изменяется от 3,7 до 8,0 ($K_{ан}=R/R_p$).

По представленным материалам проведена статистическая обработка данных (табл. 3) и построены графики-дендрограммы с помощью программы «Кластер-анализ» (рис. 1, 2).

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств метаморфизованных песчаников протерозоя площадки Удокан (материалы ЦГЭИ НИ ИргТУ)

№ п/п	№ скв.	Н	Показатели физико-механических свойств							
			R _{пр}	R _p	R	R _{p1}	R ₁	K _{pA}	K _{pB}	K _{ан}
1 ш	1А-5	9,9	2,67	18,4	93,9	16,9	77,7	0,92	0,83	5,1
2 ш	1А-5	11,5	2,59	20,5	110,3	16,2	106,8	0,79	0,97	5,4
3	1А-5	15,2	2,67	32,9	151,4	27,2	130,9	0,83	0,86	4,6
4 ш	1А-6	5,3	2,68	25,1	132,2	21,4	96,9	0,85	0,73	5,3
5	1А-6	8,8	2,75	30,4	141,7	29,4	108,5	0,96	0,77	4,7
6 ш	1В-1	12,4	2,74	18,2	92,9	16,6	89,5	0,91	0,96	5,1
7	1В-4	9,0	2,58	15,3	109,7	10,3	94,9	0,67	0,87	7,2
8 ш	1В-4	13,0	2,83	16,8	133,8	15,6	124,0	0,93	0,93	8,0
9 ш	1С-2	9,0	2,74	30,6	132,3	18,7	88,7	0,61	0,67	4,3
10 ш	1С-2	48,5	2,70	38,6	144,0	20,4	137,5	0,53	0,95	3,7

Примечание. Н – глубина отбора образца, м; R_{пр} – природная плотность песчаника, г/см³; R_p – прочность на растяжение, МПа; R – прочность на сжатие, МПа; R_{p1} – прочность на растяжение в водонасыщенном состоянии, МПа; R₁ – прочность на сжатие в водонасыщенном состоянии, МПа; K_{pA}, K_{pB} – коэффициенты размягчаемости песчаников по прочности на растяжение и сжатие (доли единицы); K_{ан} – коэффициент анизотропии по прочности (доли единицы); ш – изготовлен и описан петрографический шлиф.

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных о показателях физико-механических свойств метаморфизованных песчаников протерозоя, площадка Удокан (n=10)

П	Показатели физико-механических свойств								
	R _{пр}	R _p	R	R _{p1}	R ₁	K _{pA}	K _{pB}	K _{ан}	
X _{ср}	2,70	24,7	124,2	19,3	105,5	0,80	0,85	5,3	
X _{min}	2,58	15,3	92,9	10,3	77,7	0,53	0,67	3,7	
X _{max}	2,83	38,6	151,4	29,4	137,5	0,96	0,97	8,0	
σ	0,075	8,018	20,973	5,637	19,767	0,148	0,104	1,307	
V, %	3	32	17	29	19	19	12	24	
θ	0,057	6,845	18,010	4,248	16,003	0,12	0,083	0,916	
Md	2,69	22,8	132,2	17,8	101,9	0,84	0,87	5,1	

Примечание. П – статистические параметры: X_{ср}, X_{min}, X_{max} – среднее, минимальное и максимальное значения показателя; σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; θ – среднее отклонение; Md – медиана; n – количество образцов; коэффициенты размягчаемости (K_{pA}, K_{pB}) и анизотропии (K_{ан}) рассчитаны в долях единицы.



Результаты статистического анализа

Природная плотность метаморфизованных песчаников в среднем составляет $2,70 \text{ г/см}^3$ (табл. 3), степень изменчивости этого показателя очень низкая (коэффициент вариации всего 3%). Для сравнения приведем данные по гранитам, габбро, пироксенитам, кварцитам, сланцам и гнейсам из монографии [3], в которой на с. 51–59 указаны следующие цифры: для гранита среднее значение плотности (11217 образцов) $2,57 \text{ г/см}^3$, диорита – 2,81 (3683 образца), габбро – 2,95 (1990 образцов), пироксенита – 3,20 (2895 образцов), кварцита – 2,61, сланцев – 2,72, гнейса – 2,70–3,10. Таким образом, наши метаморфизованные протерозойские песчаники по своей природной плотности близки сланцам и кварцитам ($2,61\text{--}2,72 \text{ г/см}^3$); максимальная плотность характерна для магматических пород среднего и основного состава ($2,81\text{--}3,20 \text{ г/см}^3$).

Прочность на одноосное сжатие для исследованных песчаников в среднем составляет 124,2 МПа – это очень прочные скальные грунты (максимальное значение 151,4 МПа, минимальное – 92,9), при этом коэффициент вариации достигает 17%, то есть по сравнению с плотностью здесь отмечается заметная изменчивость показателя, причину которой и нужно установить (это могут быть особенности структуры и текстуры песчаников, степень их микротрещиноватости, возможно, химический состав, но не величина плотности). При сравнении наших песчаников с диоритами, габбро и кварцитами видно, что по прочности они несколько отстают: песчаники – 124 МПа, диориты – 154 МПа, габбро – 110–191 МПа, кварциты – 182 МПа.

Прочность при растяжении по абсолютному значению в четыре-восемь раз меньше прочности на сжатие. Кроме того, этот показатель отличается максимальной изменчивостью – коэффициент вариации 32%. Можно предположить, что уменьшение прочности на растяжение связано с наличием полосчатой макротекстуры в песчаниках, снижающей сопротивление породы горизонтальной нагрузке.

Коэффициент размягчаемости, рассчитанный по прочности на растяжение (KpA), изменяется в относительно широких пределах, о чем свидетельствует коэффициент вариации (19%), следовательно, песчаники могут «бояться» воды, то есть попадают в группу размягчаемых разновидностей (три образца из десяти имеют $Kp < 0,75$). Тот же коэффициент, рассчитанный по прочности на сжатие (KpB), также позволяет выделить размягчаемые разновидности (два образца из десяти). В чем здесь причина? Видимо, искать ее нужно в структурно-текстурных особенностях песчаников, их составе или микротрещиноватости.

Результаты кластерного анализа

Эта программа широко применяется в грунтоведческой группе лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), где она установлена на персональном компьютере в EXCEL [2, 5, 6]. Программа состоит из двух частей: R-анализ исследует связь признаков (показа-

телей физико-механических свойств песчаников) по общей выборке образцов; Q-анализ устанавливает связь между объектами (образцами), то есть группирует их в кластеры.

В первом случае (R-тип) строится график-дендрограмма, характеризующая степень корреляционной связи между признаками и их группами: по вертикали располагаются признаки, по горизонтальной оси – коэффициент корреляции R (от +1 до –1). При $R > 0,7$ связи между признаками и их группами считаются существенными, при $R < 0,4$ – слабыми; коэффициент корреляции в пределах 0,4–0,7 свидетельствует о средней степени связей (их можно назвать «заметными»).

Во втором случае (Q-тип) дендрограмма представляет собой группирование объектов по степени сходства между ними относительно анализируемых признаков: по горизонтали указывается «евклидово расстояние» (r) – мера близости между объектами (от 0 до +1), по вертикали – порядковые номера объектов-образцов. Чем больше «евклидово расстояние», тем меньше степень близости между образцами по значениям показателей.

По кластеру R-типа выделились две группы признаков (рис. 1): 1) природная плотность (P_{np}) и коэффициент размягчаемости, рассчитанный по прочности на растяжение (KpA), с коэффициентом корреляции между ними 0,35 (связь несущественная); 2) прочность на растяжение R_p и сжатие R (коэффициент корреляции 0,78) при природной влажности, прочность на растяжение при водонасыщении R_{p1} (коэффициент корреляции 0,70) и прочность на сжатие при водонасыщении R_1 (коэффициент корреляции снижается до 0,52); первая и вторая группы между собой связи не имеют (коэффициент корреляции равен нулю). Самостоятельное положение занимает коэффициент размягчаемости по прочности на сжатие KpB , так как его связи с другими показателями практически отсутствуют (коэффициент корреляции $< 0,1$).

При группировании (кластер Q-типа) четко выделились четыре пары объектов ($r = 0,12\text{--}0,18$): 1) образцы 1, 6 (имеются близкие значения R_p , R , R_{p1} , KpA); 2) образцы 2, 7 (P_{np} , R); 3) образцы 3, 10 (P_{np}); 4) образцы 4, 9 (R) (рис. 2). Следовательно, образцы песчаников по близости значений показателей физико-механических свойств разделились на два кластера: первый – образцы 1, 6, 2, 7; второй – 3, 10, 8, 4, 9, 5.

Учет глубины отбора образцов показал, что их группирование подчиняется интервалам опробования: первая, вторая и четвертая пары образцов находятся в верхней части разреза (5,3–12,8 м), третьей соответствуют разные глубины (15,2–48,9 м).

Результаты просмотра петрографических шлифов

В качестве примера приводятся фотографии шлифов двух образцов, при этом особенности состава, текстуры и структуры, а также признаки метаморфических изменений песчаников сопоставляются с показателями их плотности и прочности (рис. 3, 4).



Кластер R

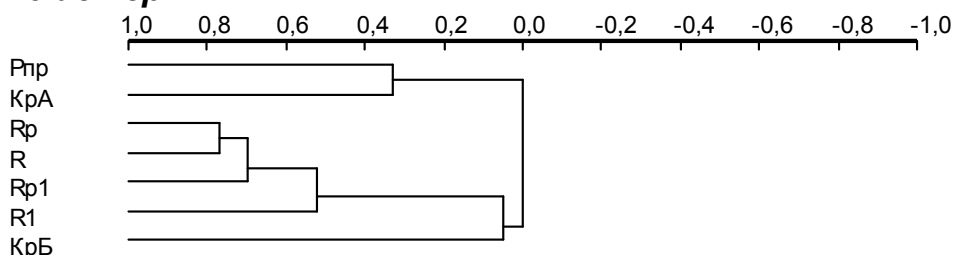


Рис. 1. Взаимосвязи природной плотности ($R_{пр}$) песчаников, их прочности на растяжение (R_p) и сжатие (R) при природной влажности и в условиях водонасыщения (R_{p1} , R_1), коэффициентов размягчаемости по прочности на растяжение (K_{pA}) и сжатие (K_{pB}) ($n = 10$, $m = 7$)

Кластер Q

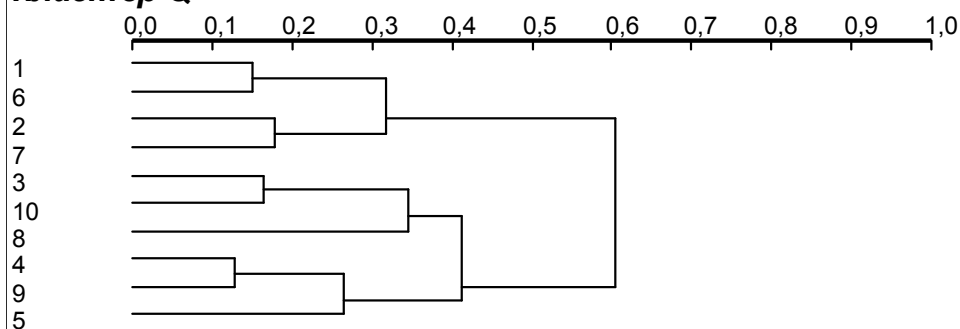


Рис. 2. Группирование образцов песчаников по показателям их плотности, прочности и коэффициентам размягчаемости ($n = 10$)



Рис. 3. Шлиф № 1, обр. 1А-5 – 9,9 м

Метапесчаник – текстура микрослоистая, структура алевро-псаммитовая (размер обломков 0,1–0,6 мм, 0,06–0,1 мм); цемент контактно-поровый глинисто-слюдистый; состав обломков – кварц (57%), плагиоклаз (15%), калишпат (10%); контуры обломков реакционные, плагиоклазы замещены серицитом, отмечается вторичный хлорит (метаизменения); наблюдаются микротрещины и волнистое погасание кварца (следы катаклаза). $R_{пр} = 2,67$; $R_p = 18,4$; $R = 93,9$; $K_{ан} = 5,1$; $K_p = 0,92–0,83$

Природная плотность метапесчаника (рис. 3) незначительна – $2,67 \text{ г/см}^3$, прочность на сжатие в условиях природной влажности по сравнению с другими образцами минимальная – 93,9 МПа, прочность на растяжение уменьшается до 18,4 МПа ($K_{ан} = 5,1$). Как мы и предполагали выше, причина этих различий – микрослоистая текстура. Следы катакlastического метаморфизма и разъедание обломков за счет глини-

сто-слюдистого цемента – причины относительно пониженной прочности как на одноосное сжатие, так и на растяжение. Образец принадлежит к неразмягчаемым разновидностям ($K_p = 0,92–0,83$). В водонасыщенном состоянии, согласно стандарту [1], метапесчаник относится к прочной разновидности по сжатию ($R_1 = 77,7 \text{ МПа}$) и разновидности средней прочности по растяжению ($R_{p1} = 16,9 \text{ МПа}$).

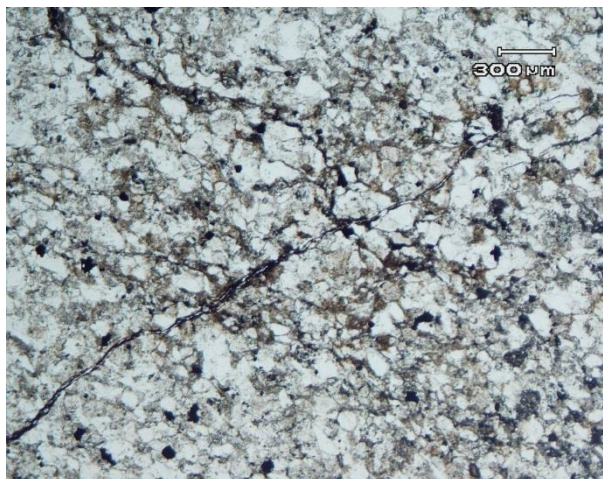


Рис. 4. Шлиф № 8, обр. 1С-2 – 9,0 м

Метапесчаник, текстура неясно микрослоистая, структура реликтовая – псаммитовая (размер обломков 0,1–0,3 мм). Обломки: кварц (66%), плагиоклаз (16%). Признаки бластогенеза: глинисто-слюдистый цемент превратился в мусковит, биотит и хлорит; трещина-прожилок заполнена гранобластовыми образованиями эпидота, кальцита и кварца; на фоне перекристаллизации – реликтовая микрослоистость (чередование мелких и более крупных агрегатов); микротрещины с агрегатным эпидотом, чешуйками биотита (катаклаз). $R_{pr} = 2,74$; $R_p = 30,6$; $R = 132,3$; $K_{ан} = 4,3$; $K_p = 0,61–0,67$

В шлифе второго образца (рис. 4) четко видны признаки перекристаллизации (бластогенез): бывший глинисто-слюдистый цемент превратился в мусковит, биотит и хлорит; по полевым шпатам развиты пелит-серицитовые тонкочешуйчатые агрегаты; отмечена трещина-прожилок, заполненная гранобластовыми образованиями эпидота, кальцита и кварца, эти же минералы присутствуют и в песчанике в виде небольших зерен. На фоне перекристаллизации сохраняется неотчетливая микрослоистость за счет чередования реликтового мелкозернистого агрегата с более крупными агрегатными формами.

Наблюдаются микротрещины, заполненные агрегатным эпидотом с примесью мелкочешуйчатого зеленоватого биотита и хлорита; слои в песчанике трассируются трещинками катаклаза (возникают в процессе катакlastического метаморфизма), к которым стягивается тонкочешуйчатый новообразованный материал хлорито-биотитового состава с примесью агрегатного эпидота. Итак, налицо признаки бластогенеза и катаклаза; кроме того, имеет место микрослоистость.

Природная плотность метапесчаника составляет $2,74 \text{ г/см}^3$, прочность на сжатие – $132,3 \text{ МПа}$, на растяжение – $30,6 \text{ МПа}$. Коэффициент анизотропии, следовательно, оказывается значительным ($K_{ан} = 4,3$), что, естественно, связано с ориентированной и слоистой текстурой породы. Фиксируется весьма интересная особенность: по величине коэффициентов размягчаемости, определенных по сжатию и растяжению, метапесчаник относится к размягчаемым разновидностям ($K_p = 0,61–0,67$). Видимо, причина относительной водонеустойчивости скального грунта – присутствие агрегатов разного состава, возникших в процессе перекристаллизации (бластогенеза). Согласно стандарту, песчаник относится к прочной разновидности по сжатию ($R_1 = 88,7 \text{ МПа}$) и разновидности средней прочности – на растяжение ($R_p = 18,7 \text{ МПа}$).

На основании изложенных материалов можно сделать следующие выводы:

1. Выделение ИГЭ в разрезах исследованных скважин выполнено на основе фиксирования опасных признаков, понижающих устойчивость грунтовой толщи, при этом применен метод экспертных оценок с использованием условных индексов в пределах шкалы от единицы до шести.

2. Статистическая обработка материалов по физико-механическим свойствам протерозойских песчаников показала, что их природная плотность занижена и изменяется незначительно ($V = 3\%$), показатели прочности разнородны, особенно по растяжению ($V = 29–32\%$), четко проявляется анизотропия при сопоставлении прочности на сжатие и растяжение и ее заметная изменчивость ($V = 24\%$), значения коэффициентов размягчаемости находятся в пределах $0,53–0,97$ ($V = 12–19\%$). В целом метаморфизованные песчаники протерозоя не отличаются стабильностью изученных свойств.

3. Природная плотность песчаников не является фактором их прочности, что установлено по результатам кластерного анализа R-типа; группирование образцов произошло на основе близости значений различных показателей их физико-механических свойств и глубины отбора (Q-тип).

4. Главными факторами прочности протерозойских метапесчаников оказались особенности их микроструктуры и микротекстуры, а также признаки, связанные с процессами бластогенеза и катаклаза, что установлено при изучении петрографических шлифов. Следует добавить, что, к большому сожалению, при инженерно-геологических изысканиях в нашем регионе указанный фактор прочности скальных грунтов давно исключен из технических заданий по причине отсутствия специалистов-петрографов в грунтоведческих лабораториях.

Статья поступила 11.11.2014 г.

**Библиографический список**

1. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. Издание официальное. МНТКС. 60 с.
2. Данилов Б.С. Кластерный анализ в EXCEL // Строение литосферы и геодинамика. Иркутск, 2001. С. 18–19.
3. Инженерная геология России. Том 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. М.: КДУ, 2011. 672 с.
4. Макаров С.А., Рященко Т.Г., Акулова В.В. Геоэкологический анализ территорий распространения природно-техногенных процессов в неоген-четвертичных отложениях Прибайкалья. Новосибирск: Наука, 2000. 160 с.
5. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н. Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2008. 131 с.
6. Рященко Т.Г., Чернышова Ю.В. Микроструктура и физико-химические свойства глинистых грунтов (опыт применения кластерного анализа) // Вестник ИрГТУ. 2010. № 4. С. 41–44.

УДК 528:338.26

СОЗДАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ© С.А. Седых¹

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1.

В Байкальском регионе весьма актуален вопрос применения технологий геоинформационных систем (ГИС) для обеспечения мониторинга состояния окружающей среды. Исследование направлено на создание ГИС-проекта для программы комплексного экологического мониторинга Забайкальского национального парка, включающего базовые, дистанционные и тематические пространственные данные, позволяющие формировать специальные тематические карты и базу данных по наблюдениям. Предложен метод, основанный на разных масштабных уровнях для цифровых карт и позиционных атрибутивных данных, с детальной проработкой разных аспектов картографирования объектов мониторинга.

Ключевые слова: национальный парк; экологический мониторинг; ГИС; картографирование, база данных; ландшафты.

CREATION OF THE GIS SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING IN THE ZABAIKALSKY NATIONAL PARK**S.A. Sedykh**

Sochava Institute of Geography SB RAS,
1 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033, Russia.

The application of GIS technology for environmental monitoring is a relevant question for protected areas in the Lake Baikal region. The study aims at the creation of a GIS project for an integrated environmental monitoring program in the Zabaikalsky National Park. The GIS project includes basic, remote sensing and thematic spatial data that enable to develop observation-based special thematic maps and a database. As a result, the paper proposes a method based on different scale levels for digital maps and positional attribute data, with the detailed study of various mapping aspects of the objects of monitoring.

Keywords: national park; environmental monitoring; GIS; mapping; database; landscapes.

Введение. В настоящее время в развитых и развивающихся странах актуально развитие технологий геоинформационных систем (ГИС) для обеспечения мониторинга состояния окружающей среды на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), где расположены важные рекреационные объекты. В РФ организация экологического мониторинга на геоинформационной основе поставлена как приоритетная задача в Концепции развития системы ООПТ федерального значения на период до 2020 года, что отвечает прогрессивным мировым тенденциям. Современные работы по ГИС-картографированию объектов и явлений на ООПТ активно ведутся службой леса США (US Forest Service) на охраняемых и подотчетных территориях для формирования обширной базы геоданных. Примером общественной и частной инициативы в этой

области могут служить ГИС-проекты для инвентаризационных и исследовательских задач центра экологических исследований Тахо (Калифорнийский Государственный Университет, Дэвис) и Тахо Института Естественных Наук (Тахо Института Естественных Наук (Тахо Institute of Natural Science) в водосборном бассейне озера Тахо (штаты Калифорния и Невада).

В России в настоящее время для ряда национальных парков и заповедников также созданы или создаются геоинформационные системы, включающие функцию экологического мониторинга (Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника, Алтайского заповедника и др.).

Актуальность и цель исследования. Забайкальский национальный парк (ЗНП) расположен в центральной экологической зоне Байкальской природной

¹Седых Сергей Анатольевич, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов, тел.: (3952) 426760, e-mail: sedykh@li.ru

Sedykh Sergei, Candidate of Geography, Researcher of the Laboratory of Mapping, Geoinformatics and Remote Sensing Methods, tel.: (3952) 426760, e-mail: sedykh@li.ru