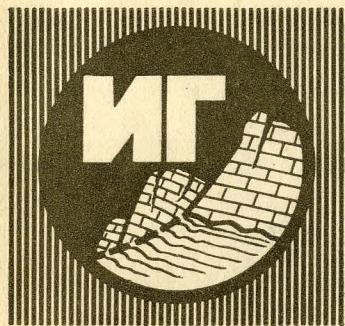


ISSN 0203-0292

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

5

1979



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1979 ГОДУ

5 1979

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

сентябрь — октябрь

МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

Ломтадзе В. Д. Инженерная геология и инженерные изыскания Кюнцель В. В., Круподеров В. С., Несветайлова Н. Г., Онготоев А. Р., Писцов М. Ю., Сергеева Н. С., Тарасова Г. И., Хоситашвили Г. Р. Прогнозирование экзогенных геологических процессов в зоне влияния переброски стока сибирских рек	3
Баулин В. В., Чернядьев В. П. Мерзлые условия Западной Сибири и вопросы их исследования в связи с переброской части стока рек в южные районы	16
Поляков А. С., Осипов В. И., Котлов В. Ф., Куприн П. Н. Изменения микротекстуры и физико-механических свойств глинистых отложений Бакинского архителага при переходе их из стадии диагенеза в стадию катагенеза	23
Метс М. О несущей способности слабых глинистых грунтов	29
Кофф Г. Л., Лободенко В. Г., Коломенский Е. Н. Микростроение и свойства моренных глинистых грунтов (на примере московской морены Белоруссии)	41
Соколов В. Н., Лапочкин Б. К. Инженерно-геологические особенности намывных грунтов гидроотвалов Кузбасса	48
Зиангиров Р. С., Черняк Э. Р. Инженерно-геологические свойства нефелиновых песков — отвалов апатито-нефелинового производства в связи с их складированием	57
Рац М. В., Иванова Н. Б., Русин Г. Л., Слепцов Б. Г. Автоматизированная система обработки данных (АСОД) по трещиноватости горных пород для инженерно-геологических целей	66
Валих В. М., Графский Б. В. Инженерно-геологическая интерпретация материалов радиолокационной съемки территории Тургайского участка трассы проектируемого канала Иртыш—Аральское море	78
Калачев В. Я. Полевой прибор для определения липкости почв и грунтов	90
Галай Б. Ф., Лысенко М. П. Влияние состава и свойств лесовых грунтов на выбор и эффективность противопросадочных мероприятий	99
Мельников П. И., Граве Н. А. Международный форум мерзлотоведов	104
Трофимов В. Т. О направлениях инженерно-геологических исследований в XI пятилетке	109
	120

Lomtadze V. D. Engineering Geology and Engineering Prospecting	3
Kyuntsel V. V., Krupoderov V. S., Nesvetaylova N. G., Ongotoev A. R., Pistorov M. Yu., Sergeeva N. S., Tarasova G. I., Khositashvili G. R. Prediction of exogenous geological processes in the zone of influence of transferring Siberian rivers run — off	16
Baulin V. V., Chernyadyev V. P. The Geocryological Conditions of Western Siberia and Problems of their Study in Connection with Transferring Siberian Rivers-run-off to Southern Regions	23
Polyakov A. S., Osipov V. I., Kotlov V. F., Kuprin P. N. A Change in the Microstructure and physico — mechanical properties of clayey deposits of the Bakinsky Archipelago when passing from the diagenesis stage into the catagenesis stage	29
Mets M. On the bearing capacity of weak clayey soils	41
Koff G. L., Lobodenko V. G., Kolomensky Ye. N. The microstructure and properties of morainic clayey soils (on the example of the Moscow moraine in Belorussia)	48
Sokolov V. N., Lapochkin B. K. The engineering geological peculiarities of the wash — in soils of the Kuzbas hydroheaps	57
Ziangirov R. S., Chernyak E. R. The engineering geological properties of the nepheline sands — waste of the apatite — nepheline production in connection with their storage	66
Ratz M. V., Ivanova N. B., Rusin G. L., Sleptsov B. G. The automatized system of data processing (ASDP) by rock jointing for the engineering geological purposes	78
Valyakh V. M., Grafsky B. V. The engineering geological data interpretation of radiolocation survey of a Turgay part of the projected track of the Irtysh — Aral — Sea canal	90
Kalachev V. Ya. A field device for assessing rock and soil adhesiveness	99
Galay B. F., Lysenko M. P. An influence of the loess soils composition and properties on the selection and efficiency of the antisubsidence measures	104
Melnikov P. I., Grave N. A. The international forum of geocryologists	109
Trofimov V. T. On the developments of the engineering geological investigations in the XIth five — year plan	120

ЛОМТАДЗЕ В. Д.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Почти любая сколько-нибудь значительная народнохозяйственная техническая идея непосредственно или косвенно реализуется через строительство сооружений или хозяйственное использование территорий, которое также связано с выполнением строительных или других инженерных работ. Строительство сооружений всегда предшествует их проектирование, выполняемое по материалам геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий. Следовательно, инженерно-геологические исследования* являются составной частью инженерных изысканий для строительства, частью подготовительных работ при проектировании и строительстве любых сооружений и производстве разнообразных инженерных работ.

Общей задачей инженерных изысканий для строительства является изучение природных, а также инженерно-геологических условий района или площадки расположения сооружений для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих разработку технически правильных и экономически наиболее целесообразных решений при проектировании и строительстве.

Многолетний опыт СССР и зарубежных стран показывает, что проектирование сооружений следует вести последовательно, добиваясь оптимальных решений при наименьших затратах сил, средств и дефицитных материалов. В настоящее время в Советском Союзе принята в качестве основной двухстадийная система проектирования. На первой стадии составляется технический проект, на второй — рабочие чертежи.

Во вновь осваиваемых районах для выяснения общих перспектив строительства, а также при проектировании крупных и сложных объектов, имеющих особо важное народнохозяйственное значение, перед техническим проектированием производят работы по технико-экономическому обоснованию (ТЭО) намечаемого первоочередного строительства. Эти предпроектные работы в зависимости от вида строительства могут иметь разный характер и даже название, но назначение их в общем одно и тоже — дать технико-экономическое обоснование целесообразности строительства первоочередного объекта и установить основные технические параметры сооружения для проектирования. Так, например, при проектировании гидротехнических сооружений в предпроектные работы входят составление схемы комплексного использования реки для энергетических целей, улучшения судоходства, ирригации, водоснабжения, защиты от наводнений и др. и технико-экономическое обоснование строительства первоочередного объекта. При проектировании крупных дорожных магистралей в предпроектные работы входит составление технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности строительства новой или реконструкции существующей дороги, выбора направления трассы и тех-

* Инженерно-геологические исследования с целью обоснования проектов сооружений и инженерных работ называют также инженерными изысканиями.

нических параметров проектируемой дороги. При проектировании строительства и реконструкции городов и поселков городского типа в предпроектный период составляют генеральный план города и пригородной зоны, выбирают район первоочередной застройки и устанавливают его параметры.

Таким образом, технологическая схема проектирования сооружений включает в себя последовательное выполнение предпроектных и проектных работ. В соответствии с этим и инженерно-геологические исследования ведутся стадийно: 1) рекогносцировочные — для обоснованного определения района возможного расположения объектов строительства и выбора первоочередного района; 2) предварительные — для обоснования мест расположения сооружений в первоочередном районе и получения материалов для начала проектирования; 3) детальные — для обоснования технического проекта сооружений на выбранном участке и 4) дополнительные — для уточнения некоторых технических решений при обосновании рабочих чертежей.

Заметим, что предварительные инженерные изыскания в зависимости от индивидуальных особенностей сооружения выполняют либо для его ТЭО, либо для обоснования первого этапа технического проекта, например выбора строительной площадки.

Инженерно-геологические условия территорий — это совокупность их природных геологических условий, определяющих план размещения на них различных видов строительства, рациональное использование этих территорий, выбор районов и мест расположения различных сооружений, их устойчивость и нормальную эксплуатацию, а также условия производства строительных и горных работ. Геологические условия в данном случае называются инженерно-геологическими, так как их изучают и оценивают в инженерном аспекте, а прогноз изменений геологических условий составляют в связи со строительством сооружений и выполнением инженерных работ.

Важнейшим элементом инженерно-геологических условий той или иной территории являются горные породы, участвующие в ее геологическом строении, определяющие характер рельефа, развитие геологических процессов, распространение подземных вод и месторождений полезных ископаемых. В то же время горные породы служат естественным основанием для различных сооружений, средой для них и строительным материалом. Поэтому при описании и оценке инженерно-геологических условий регионов, областей, районов и участков необходимо в первую очередь показать закономерности распространения на них горных пород, обладающих различным составом, строением и физико-механическими свойствами.

При инженерно-геологических исследованиях соблюдается определенная последовательность в изучении природных элементов инженерно-геологических условий на разных стадиях изысканий (рис. 1)*. На схеме ширина горизонтальной полосы указывает на сравнительную роль получаемой информации в оценке инженерно-геологических условий территории и решении задач на каждой стадии изысканий. Заметим, что если из основных элементов инженерно-геологических условий исключить хотя бы один, то мы не сможем дать полной характеристики и оценки этих условий и правильно решить инженерные задачи. Из этого правила может быть только одно исключение. При инженерных изысканиях для массовых видов строительства в городских или крупных промышленных районах поиски и разведку месторождений строительных материалов обычно не производят, строительство обеспечивается строительными ма-

* Идея построения графиков, подобных изображенному на рис. 1, принадлежит Н. А. Зенкову.

Важнейшие элементы инженерно-геологических условий	Инженерно-геологические исследования			
	Рекогносировочные	Предварительные	Детальные	Дополнительные
Геоморфология	■	■	■	
Геологическое строение	■	■	■	■
Гидрогеологические условия	■	■	■	■
Геологические процессы и явления	■	■	■	■
Физико-механические свойства горных пород	■	■	■	■
Месторождение минеральных стройматериалов	■	■	■	■

Рис. 1. Последовательность изучения важнейших элементов инженерно-геологических условий

териалами в централизованном порядке из существующих разведанных и разрабатываемых месторождений.

При проектировании отдельных крупных сооружений (гидроузел, метрополитен, новая дорога и др.) обеспечение их необходимыми минеральными строительными материалами — задача первостепенная. Наличие в районе строительства тех или иных минеральных строительных материалов часто определяет тип, конструкцию сооружения, иногда возможность его расположения в данном месте и всегда влияет на стоимость его строительства. Например, если на выбранном участке для строительства плотины имеются необходимые для намыва или отсыпки горные породы, ее будут возводить из этих строительных материалов, в противном случае она должна быть бетонной.

При проектировании крупных сооружений нередко приходится изучать не только месторождения минеральных строительных материалов, но и инженерно-геологические условия месторождений других полезных ископаемых с целью оценки возможного влияния проектируемого сооружения на условия их разработки или, наоборот, оценки влияния горных выработок на устойчивость проектируемых сооружений и окружающую геологическую среду. Заметим, что специальное изучение инженерно-геологических условий месторождений полезных ископаемых — рудных, угольных, горно-химического сырья и др. — теперь выполняют во всех случаях, когда проектируют для их разработки такие сооружения, как шахты и карьеры.

Из сказанного следует, что инженерно-геологические исследования всегда являются комплексными в связи с необходимостью изучения совокупности природных элементов. Уметь должным образом изучать каждый из элементов инженерно-геологических условий на той или иной стадии инженерных изысканий — задача каждого, кто их выполняет. Это показатель правильности организации и качества выполнения инженерных изысканий. При этом всегда полезно помнить указание Ф. П. Саваренского о том, что «...инженер-геолог, чуждающийся геологии, ничего не стоит, никакой пользы от него быть не может».

Инженерно-геологические условия территорий могут отличаться неоднородностью и изменчивостью. Поэтому рациональная система инженерных изысканий должна как бы соответствовать природным условиям, т. е. обеспечивать возможность выявления и изучения неоднородности и изменчивости и позволять по признакам сходства и различия выделять

отдельные однородные участки с определенными рельефом, геологическими образованиями, процессами и явлениями, оценивать условия строительства на них сооружений, рационально использовать геологическую среду и разрабатывать способы ее охраны. Только на основе рациональной системы изысканий возможно выявлять все то, что является главным, характерным, типичным для той или иной территории или отдельных ее частей, и производить типизацию территорий.

Выявление и оценку закономерностей распределения характера и степени неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий территорий надо считать ведущим мотивом системы инженерных изысканий на всех стадиях. Действительно, если бы инженерно-геологические условия по площади и на глубину не были бы неоднородными и изменчивыми, было бы достаточно просто выполнять инженерные изыскания и давать геологическую оценку условий строительства сооружений. Получив данные в некотором одном месте, их можно было бы распространять на значительные расстояния. Однако в большинстве случаев так поступать не представляется возможным.

Неоднородность и изменчивость инженерно-геологических условий той или иной территории могут быть обусловлены неоднородностью и изменчивостью форм рельефа, геологического строения, состава, состояния и свойств горных пород, распространения подземных вод и геологических процессов. Здесь важно учитывать, что когда говорят о неоднородности, т. е. не об одном роде каких-то объектов, процессов и явлений, то имеют в виду наличие между ними каких-либо границ: явных, четких, постепенных, расплывчатых или предполагаемых. В этом плане совершенно правильная мысль была высказана Д. А. Родионовым (1968) о том, что однородное пространство является математической моделью геологических объектов, в которых проведение каких-либо границ не имеет смысла, так как разделение этого объекта на более мелкие участки не приведет к различиям в комплексе признаков.

В неоднородной среде при выделении разного рода объектов, процессов и явлений необходимо учитывать их важнейшие особенности, существенно определяющие их индивидуальность и оценку в инженерном аспекте. Например, в долине реки выделяются элементы рельефа разного рода — водоразделы, склоны, террасы и др.; в геологическом разрезе выделяются толщи, горизонты, слои, зоны и т. д. горных пород различного стратиграфического, генетического и петрографического рода; в неоднородной горной породе выделяются частицы разного размера и т. д.

Заметим, что неоднородность, предопределяющая проведение границ, не всегда устанавливается сразу, а по мере накопления необходимых фактов. Например, в долинах рек окончательная стратификация террас устанавливается после того, как изучено их строение. Следовательно, первоначальное их выделение по морфологическим признакам недостаточно. Другой пример: в толще лёссовых пород отдельные их зоны или горизонты могут обладать существенно различной просадочностью, поэтому, выделив первоначально (на начальных стадиях изысканий) как будто однородную толщу лёссовых пород, при последующем изучении (при более детальных исследованиях) уточняют ее неоднородность и выделяют в ней зоны или горизонты по степени просадочности, т. е. по признаку, очень важному для инженерной оценки этих пород.

Неоднородность инженерно-геологических условий может иметь закономерный или незакономерный, или, точнее, условно незакономерный, характер проявления в пространстве и во времени. Например, водоразделы отделяются от склонов долин, в основании которых, как правило, развиты речные террасы. Такое пространственное расположение элементов рельефа разного рода закономерно и связано с геологической историей формирования долины.

На Русской равнине в направлении с севера на юг наблюдается смена ледниковых (моренных) отложений водно-ледниками. Такое пространственное расположение отложений разного рода обуславливает разный характер геологического разреза в пределах внутриледниковой (интерглациальной) и приледниковой (периглациальной) областей, что вполне закономерно и связано с их геологической историей. В геологическом разрезе осадочных толщ часто наблюдается смена обломочных пород глинистыми, а последних — карбонатными. Такая пространственная и соответственно временная смена горных пород разного рода закономерна и также связана с особенностями геологической истории осадочного процесса.

Неоднородность в пространстве может иметь и незакономерный характер проявления. Например, в ледниковых (моренных) отложениях валуны и глыбы распространены обычно незакономерно. В осадочных породах нередко наблюдается большая сложность геологического разреза, обусловленная частым и неправильным (по простирианию и мощности) переслаиванием пород различного петрографического состава, среди которых встречаются породы неустойчивые и слабые.

Степень неоднородности инженерно-геологических условий может быть различной: очень резкой, значительной, заметной и уловимой только при применении специальных методов исследований. Эта последняя проявляется в непостоянстве, вариациях, изменениях числовых значений показателей некоторых признаков и свойств объектов, процессов и явлений в различных точках. Для такой степени неоднородности характерным является отклонение отдельных показателей качеств, свойств, признаков объекта в отдельных его точках от средних значений, но не настолько значительное, чтобы можно было установить его визуально. Поэтому такие объекты макроскопически выглядят как бы однородными (квазиоднородными), и только при детальном их изучении можно обнаружить изменения каких-то признаков и свойств от точки к точке. Следовательно, изменчивость инженерно-геологических условий территорий, горных пород и других объектов — вид их неоднородности, устанавливается при детальном изучении обычно специальными методами.

Надо отметить, что изменчивость различных геологических объектов — элементов рельефа, горных пород, подземных вод, геологических процессов и явлений — есть их природное свойство. Например, поверхность какого-либо однородного склона, его крутизна на разных участках по профилю всегда имеет отклонения от средней ее величины в связи с особенностями развития процессов смыва и размыва. Состав, строение, состояние и свойства макроскопически однородных горных пород всегда изменяются от точки к точке, а геологические процессы и явления — на тех или иных отрезках времени развития.

На рис. 2* видно, что степень неоднородности для определенного предела определяется числом границ (или общим их протяжением) на рассматриваемой площади среды. При этом чем больше размеры среды, тем больше вероятность обнаружить ее неоднородность, и, наоборот, чем меньше размеры среды, тем меньше эта вероятность. Здесь проявляется масштабный эффект. Когда размеры рассматриваемой территории, например строительной площадки, сопоставимы с размерами отдельных элементов неоднородной среды и эта площадка располагается в пределах одного из этих элементов, она может считаться однородной (рис. 2a1, a2 и др.; b1, b2, b3 и др.). Когда степень неоднородности среды достигает большей величины (рис. 2d4), отдельные составляющие ее элементы могут утрачивать свое индивидуальное влияние и среда в целом становится однородной или, точнее, квазиоднородной.

* При построении этого графика в какой-то мере применена диаграмма структурной неоднородности Я. Б. Фридмана (1956) и М. В. Раца (1968).

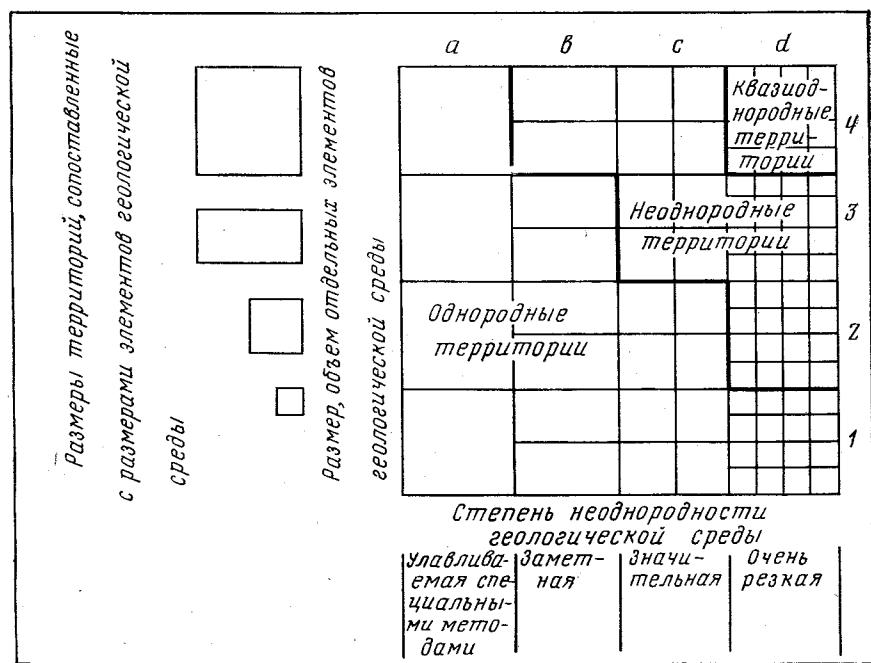


Рис. 2. Диаграмма, характеризующая степень неоднородности геологической среды в зависимости от числа разделяющих ее границ или общей их протяженности

Однако нельзя только так, формально, т. е. в зависимости от размеров, объема элементов среды, оценивать ее в инженерном аспекте. Необходимо учитывать и качество отдельных элементов среды, ее слагающих (например, устойчивость, прочность, деформируемость, водопроницаемость горных пород), так как свойства неоднородной среды в целом часто определяются отдельными ее элементами. Так, например, при проектировании и строительстве гидроэлектростанции на р. Свирь на отложениях верхней пестроцветной свиты верхнего девона Главного девонского поля Русской платформы было установлено, что тонкие прослои мягких слабых глин определяют свойства всей толщи отложений. Часто отдельная крупная трещина, тектоническое нарушение создают явную геологическую неоднородность участка и т. д.

Таким образом, неоднородность может проявляться различно в зависимости от размеров, объема отдельных элементов, расположения их границ в пределах геологической среды — геологического пространства. Соответственно можно говорить об уровнях организации пространства или просто об уровнях неоднородности (Драгунов, 1965). В основе выявления, характеристики и оценки неоднородности геологических объектов, процессов и явлений должны лежать геологические методы.

Однородность инженерно-геологических условий территорий, например строительной площадки, определяется в первую очередь однородностью рельефа (расположением ее в пределах одной формы рельефа) и однородностью геологического разреза, т. е. малым числом петрографических типов слагающих ее горных пород, одинаковой последовательностью их напластования, выдержанностью залегания горизонтов, слоев и зон по мощности и простирации, однородностью состава, физического состояния, прочности, деформируемости и водопроницаемости распространенных здесь типов горных пород. Однородность инженерно-геологических условий определяется также одинаковой глубиной залегания уровня подземных вод и одинаковым их химическим составом в пределах

всей изучаемой территории, одинаковыми мощностью, водообильностью и режимом водоносных комплексов, горизонтов и зон. Естественно, что изучение однородности геологического строения и гидрогеологических условий производится до глубины зоны влияния сооружений, инженерных работ или технологических процессов.

Любые отклонения от таких инженерно-геологических условий будут обуславливать их неоднородность в пределах изучаемой территории и тем в большей степени, чем более существенными и резкими будут эти отклонения. Эта неоднородность может быть вызвана, например, следующими обстоятельствами: большими неровностями рельефа; сложностью геологического разреза, проявляющейся в частом переслаивании горных пород разного петрографического состава и физического состояния, в изменении мощности горизонтов и слоев, их выклинивании, в залегании горных пород в виде линз, залежей, неправильных по форме и различных по мощности, в изменчивости мощности четвертичных отложений; неровностями рельефа поверхности коренных пород; изменениями состава, физического состояния, прочности и деформируемости горных пород по глубине и по площади; неравномерной их трещиноватостью; появлением крупных зияющих или заполненных слабым материалом трещин, зон нарушений и дробления и т. д. Различная глубина залегания подземных вод на разных участках строительной площадки и различия в других параметрах, как и проявление тех или иных геологических процессов, также будут создавать неоднородность инженерно-геологических условий.

Чем больше неоднородность инженерно-геологических условий территорий, тем более высокой должна быть степень детальности инженерных изысканий. Она должна, безусловно, обеспечивать достоверность и надежность выявления и изучения всех особенностей инженерно-геологических условий при проектировании, исключать необходимость в рассмотрении дополнительных вариантов выбора, например, строительной площадки, типа фундаментов и др. и гарантировать строительство от возможных геологических неожиданностей, которые могли бы повлиять на изменение проекта сооружения, сроки и стоимость строительства. Это одно из основных методологических положений системы инженерных изысканий и потому на него обращается особое внимание.

Из вышеизложенного следует, что в основе установления и изучения неоднородности инженерно-геологических условий территорий, тех или иных геологических объектов, процессов и явлений действительно должны лежать геологические методы, так как ее проявление связано с особенностями условий образования рельефа, горных пород и историей геологического развития территорий. Действительно, морские отложения, особенно глубоководные, образуют обычно мощные толщи однородных по составу пород, выдержанные по простирации на многие сотни, тысячи и даже десятки тысяч метров, тогда как прибрежноморские и лагунные отложения, хотя и образуют также мощные толщи, но среди них пласти, залежи и линзы пород различного состава в большинстве случаев резко выклиниваются по простирации. Для лагунных отложений характерен сложный геологический разрез, обусловленный частым и неправильным переслаиванием пород различного петрографического состава, среди которых встречаются породы слабые, или водонеустойчивые, растворимые. Следовательно, при инженерных изысканиях на территориях, сложенных морскими отложениями, будет проявляться большая однородность геологических условий, чем на территориях, сложенных лагунными отложениями. Поэтому в первом случае изыскания могут иметь меньшую детальность, например, разведочные точки и линии (шаг разведки) можно располагать через 100—150 м и более, тогда как во втором случае для достоверного и достаточно полного изучения геологического строения их приходится располагать через 10—20—25 м.

Континентальные отложения по сравнению с морскими характеризуются еще большей невыдержанностью распространения форм залегания и изменчивой мощностью. Они залегают в виде покровов, толщ, слоев, пластообразных залежей, линз и других форм. Особенно большим неизменством условий залегания отличаются элювиальные, делювиальные, коллювиальные, аллювиальные пойменные, ледниковые, озерно-ледниковые и болотные образования. Мощность этих отложений обычно составляет единицы или первые десятки метров, а по простирию они прослеживаются на малые расстояния. Поэтому при исследованиях участков, сложенных континентальными породами, детальность изысканий, густота (плотность) разведочной сети должна быть значительной, шаг разведки должен составлять первые десятки метров, а часто и меньше.

Магматические глубинные и полуглубинные породы образуют в большинстве случаев крупные и сравнительно крупные интрузивные тела — массивы, батолиты, лакколиты и др. При таких размерах и формах залегания пород на них могут полностью разместиться крупные сооружения. Излившиеся породы образуют покровы, потоки, купола, пластовые залежи, переслаивающиеся с осадочными и эфузивно-осадочными породами. Детальность изысканий — плотность разведки участков, сложенных такими породами, должна быть значительно большей, чем участков, сложенных интрузивными породами.

Условия залегания метаморфических пород зависят в значительной степени от условий залегания исходных пород, из которых они образовались. При региональном метаморфизме, захватывающем значительные площади, образуются толщи большой мощности, на которых можно размещать крупные сооружения. При локальном метаморфизме наблюдается быстрая смена различных типов пород с разным физическим состоянием. В этих случаях на больших площадях геологические условия могут быть неоднородными и сложными, что надо учитывать при определении детальности изысканий, густоты (плотности) разведочной сети.

Особо следует обратить внимание на то, что большую неоднородность инженерно-геологических условий строительных площадок и участков, сложенных скальными и полускальными магматическими, метаморфическими и сцепментированными осадочными породами, создают структурно-тектонические образования. Крупные трещины, неравномерное распределение систем и зон трещин, другие тектонические нарушения, жильные образования, ксенолиты и шлировые выделения, сланцеватость и другие особенности создают неоднородность на расстояниях, измеряемых метрами и первыми десятками метров. Поэтому на таких участках необходима значительная детальность изысканий (плотность разведки); здесь приходится проводить разведочные выработки не только вертикальные, но и наклонные, и горизонтальные.

Следовательно, критериями неоднородности инженерно-геологических условий территорий являются: 1) многообразие форм рельефа; 2) сложность геологического разреза, обусловленная распространением различных стратиграфических, генетических и петрографических типов пород, формой и условиями их залегания, невыдержанностью мощности и тектонической нарушенностью; 3) неоднородность физического состояния горных пород; 4) неодинаковые распространенность и условия залегания подземных вод. Неоднородность может быть усиlena развитием геологических процессов и явлений на рассматриваемой территории. Для характеристики и оценки изменчивости инженерно-геологических условий, связанной главным образом с изменчивостью состава и свойств горных пород, следует выбирать и обосновывать методику полевых работ и методы обработки получаемых результатов.

Исследованию изменчивости состава и свойств горных пород посвящен ряд работ: Г. К. Бондарика (1971, 1976), Л. В. Иванова (1954),

И. Н. Ивановой (1973), Е. Н. Коломенского (1968), Н. В. Коломенского (1968, 1969), Н. Н. Маслова (1949), В. П. Огоноченко (1968), М. В. Раца (1968). Много внимания этой проблеме уделяют также специалисты в геолого-разведочном деле, и в частности В. М. Крейтер (1940), Д. А. Зенков (1955), Е. О. Погребицкий (1968, 1974) и др. Теоретические обобщения по этой проблеме в инженерной геологии впервые сделали Н. В. Коломенский и Г. К. Бондарик. Надо считать, что ими было положено начало научному обоснованию методики инженерных изысканий.

Н. В. Коломенский и Г. К. Бондарик, изучая закономерности изменчивости свойств различных генетических и петрографических типов глинистых и песчаных пород из самых различных районов, установили, что изменчивость их состава и свойств в конечном итоге может быть сведена к одному из трех типов: а) скачкообразной незакономерной (по Г. К. Бондарику — стационарный режим); б) скачкообразной закономерной (по Г. К. Бондарику — нестационарный режим) и в) функциональной.

Изменчивость состава и свойств горных пород является геологическим фактором, который может влиять на выбор методики инженерных изысканий, т. е. на выбор плана расположения разведочных выработок, мест отбора проб, методику статистической обработки и др. Важно знать изменения свойств и состава горных пород как качественные, так и количественные. Они могут быть закономерными и незакономерными. В большинстве случаев это пространственные закономерности, но если они наблюдаются и по глубине толщ слоев горных пород, то они одновременно являются и временными.

Как показывает опыт изучения различных горных пород, по-видимому, правильнее различать характер изменчивости их свойств по ее сложности, т. е. примерно так, как это рекомендовал Е. О. Погребицкий (1968, 1974) при изучении месторождений твердых полезных ископаемых: 1) простой — по закону прямой горизонтальной линии или вертикальной, если рассматриваются свойства по глубине (тип а, по Н. В. Коломенскому, или имеющий стационарный режим, по Г. К. Бондарику); 2) сложный — по закону прямой наклонной линии (тип б, по Н. В. Коломенскому, или имеющий нестационарный режим, по Г. К. Бондарику); для этого характера изменчивости устанавливается определенный градиент изменчивости, позволяющий прогнозировать свойства горных пород в той или иной точке их распространения по направлению этого градиента; 3) очень, или крайне сложный, который устанавливается в виде более или менее определенной тенденции, или, по Н. В. Коломенскому, функциональной зависимости.

Выше уже было отмечено, что выяснение и оценка закономерностей распределения степени неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий, горных пород и других объектов являются главным в системе инженерных изысканий. Действительно, при любой геологической, и в том числе инженерно-геологической, съемке территории первой и главной задачей является выделение, прослеживание и оконтуривание площадей распространения горных пород, разнородных в стратиграфическом, генетическом, петрографическом и инженерно-геологическом отношении. При разведочных работах первостепенным является изучение и расчленение геологического разреза на горизонты, слои, зоны горных пород разного рода, как и при съемках. В ходе опытных работ изучают и оценивают свойства горных пород, водоносных горизонтов разного рода на различных участках. При режимных наблюдениях выявляют масштаб явлений, таких, как колебания уровней поверхностных и подземных вод, их напоры, производительность водоносных горизонтов, состав подземных вод, интенсивность развития оползневых подвижек и других деформаций горных пород и др., и их обусловленность во времени. Когда определены объекты, процессы и явления разного рода, важно

Виды геологических работ	Инженерно-геологические исследования			
	Рекогносцировочные	Предварительные	Детальные	Дополнительные
Камеральные работы	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Инженерно-геологическая съемка	■■■■■	■■■■■	■■■■■	
Разведочные работы	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Полевые опытные работы	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Режимные стационарные наблюдения	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Лабораторные работы	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Паспортизация сооружений			■■■■■	■■■■■
Научно-исследовательские работы	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Экспертиза	■■■■■	■■■■■	■■■■■	■■■■■
Организация и ликвидация работ	■■■■■	■■■■■	■■■■■	

Рис. 3. Виды геологических работ, применяемые на различных стадиях инженерных изысканий

установить и оценить, какова изменчивость признаков и свойств каждого из них в пространстве и во времени.

Приведенные примеры подтверждают высказанное выше положение, что выявление и оценка закономерности распределения характера и степени неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий — это ведущий мотив производства инженерных изысканий. Именно неоднородность и изменчивость инженерно-геологических условий территории определяют сложность условий строительства на них сооружений, методику инженерно-геологических исследований и т. д.

При изучении инженерно-геологических условий территорий на каждой стадии изысканий и решении при этом различных задач, связанных с проектированием сооружений и инженерных работ, применяют различные методы и виды геологических работ в определенной последовательности. На рис. 3 приведен перечень видов геологических работ, наиболее часто применяемых в практике инженерно-геологических исследований. На схеме ширина горизонтальной полосы характеризует относительную роль данного вида геологических работ на той или иной стадии изысканий.

Из этой схемы видно, что камеральные работы выполняются непрерывно, начиная с подготовки к рекогносцировочным исследованиям, в период всех этапов полевых исследований и по завершении каждого из них. В состав этих работ входит изучение литературных, фоновых материалов, в том числе и картографических, характеризующих инженерно-геологические условия рассматриваемой территории, составление программ и проектов исследований, выполнение полевой обработки материалов, окончательная обработка материалов по завершении полевых исследований, составление отчетов, заключений, выдача исходных данных для проектирования. К камеральным работам относится также составление описаний инженерно-геологических условий строительства сооружений, иногда выполняемых уже при их эксплуатации.

Из схемы (рис. 3) видно, что на начальных стадиях изысканий основным видом геологических работ является инженерно-геологическая съемка, которая сопровождается небольшим объемом других видов геологических работ с целью более обоснованного решения задач, связанных с составлением схемы комплексного использования территории, выбора мест расположения первоочередных объектов и т. д.

На стадии детальных исследований, выполняемых для обоснования технического проекта сооружений, основными видами геологических работ являются разведочные и опытные работы и стационарные наблюдения, а также значительный объем лабораторных работ. На этой стадии должна завершаться детальная инженерно-геологическая съемка, которая обычно сливается с разведочными работами, так как для составления детальной карты участка расположения сооружений полностью используются все данные разведочных работ.

При выполнении инженерных изысканий для обоснования проектов сооружений, особенно крупных или проектируемых в сложных инженерно-геологических условиях, часто возникают проблемы и вопросы, которые трудно решить в процессе проведения обычных производственных изысканий. Для их решения выполняют специальные научно-исследовательские тематические работы одновременно с инженерными изысканиями иногда нескольких различных организаций. Материалы и заключения таких тематических исследований дополняют результаты инженерных изысканий и позволяют наиболее полно обосновывать проект сооружения и строительство инженерно-геологическими данными.

В перечне видов работ определенное место занимает паспортизация сооружений, т. е. обследование в связи с их реконструкцией, расширением, надстройкой, восстановлением или в связи с появлением и развитием деформаций или нарушений устойчивости. Во всех этих случаях возникает необходимость в обследовании состояния сооружения — его фундаментов, глубины их заложения, работы дренажей и др., а также инженерно-геологических условий, в которых оно расположено, — состояния горных пород, гидрогеологических условий и т. д.

Очень важным видом работ является экспертиза инженерно-геологических материалов, в задачи которой входит: составление заключений по программам и проектам инженерно-геологических исследований, по материалам и отчетам, представляемым для обоснования проектов, по оценке инженерно-геологических условий строительства; о причинах деформаций, аварий сооружений, о необходимых инженерных мероприятиях для обеспечения устойчивости сооружений, безопасности ведения строительных и горных работ и др. Из данного перечня видно, что экспертиза — это сложный и ответственный вид работ, требующий достаточной эрудиции и квалификации специалистов, которым она поручается.

Обязательными на всех стадиях инженерных изысканий являются работы по их организации и ликвидации.

Итак, современные инженерно-геологические исследования (инженерные изыскания) составляют определенную систему — порядок изучения

инженерно-геологических условий территорий, рационального использования геологической среды и ее охраны. Эта система предполагает выполнение инженерных изысканий по плану, в определенной последовательности, в соответствии со стадиями проектирования сооружений. На каждой стадии изысканий должны решаться определенные геологические задачи, связанные с изучением комплекса природных элементов, определяющих инженерно-геологические условия значительных территорий или строительной площадки. Для решения этих задач с необходимой детальностью применяются определенные комплексы геологических работ и соответствующих методов исследований.

Система инженерных изысканий должна обеспечивать выбор самых оптимальных, технически целесообразных и экономически наиболее выгодных инженерных решений при планировании рационального использования территории, геологической среды, ее охраны, при выборе мест расположений сооружений, их конструктировании, проектировании организаций строительных и горных работ, расчетах устойчивости и обеспечения нормальных условий эксплуатации сооружений. Система инженерных изысканий должна гарантировать строительство от различных геологических неожиданностей, которые могут вызвать необходимость изменения проекта, сроков строительства и стоимости сооружений.

Теоретической основой системы инженерных изысканий являются следующие учения: об истории геологического развития территорий; о формировании свойств горных пород, о закономерностях распространения подземных вод, водообильности и режиме водоносных горизонтов, зон и комплексов; о причинах, условиях и динамике развития геологических процессов; о критериях, характеризующих закономерности распределения неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий территорий.

Для выполнения инженерных изысканий всегда требуются затраты огромного целенаправленного человеческого труда и использование разнообразной и достаточно сложной техники (приборов, инструментов, установок, станков, машин и др.). Теперь изыскания представляют собой определенный самостоятельный вид производства.

Претворение в жизнь планов развития народного хозяйства нашей страны, направленного на дальнейший подъем производительных сил, ее экономической и оборонной мощи, связано с дальнейшим освоением недр Земли, с различными видами строительства и соответственно с развитием инженерно-геологических изысканий, инженерной геологии и ее научных направлений. Выполнение таких работ в значительной степени обеспечивается новой специализированной службой страны.

В настоящее время в системе Госстроя СССР и союзных республик создано около 30 территориальных трестов и институтов инженерных изысканий, которые наряду с инженерно-геологическими организациями других министерств и ведомств, Министерствами геологии СССР и РСФСР и Управлениями геологии союзных республик выполняют научно-исследовательские и производственные работы в области инженерной геологии. Создание новой специализированной службы страны является отличительной особенностью современного развития инженерной геологии.

Ленинградский горный институт
Кафедра инженерной геологии

ЛИТЕРАТУРА

- Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. М., «Недра», 1971.
Бондарик Г. К., Горальчук М. И., Сироткин В. Г. Закономерности пространственной изменчивости лёссовых пород. М., «Недра», 1976.
Драгунов В. И. Геология и изучение элементов структуры и уровней организации вещества. Вып. I. Л., Изд-во ВСЕГЕИ, 1965.

- Зенков Д. А. Четыре типа изменчивости рудных тел.— Разведка и охрана недр, 1955, № 6.
Иванова И. Н. Инженерно-геологическое опробование горных пород. М., Изд. МГРИ, 1973.
Иванов Л. В. О неоднородности и методах изучения и оценки строительных свойств грунтов ледникового комплекса.— В кн.: Вопросы механики грунтов. Л., Стройиздат, 1954.
Коломенский Н. В. Общая методика инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1968.
Коломенский Н. В. Специальная инженерная геология. М., «Недра», 1969.
Коломенский Е. Н. Количественная характеристика инженерно-геологической неоднородности горных пород.— Изв. вузов. Геология и разведка, 1968.
Коломенский Е. Н. О связи функции распределения с пространственной изменчивостью показателей физико-механических свойств горных пород.— В кн.: Математические методы в инженерной геологии. М., «Наука», 1968.
Крейтер В. М. Поиски и разведка полезных ископаемых. М.— Л., Госгеолиздат, 1940.
Маслов Н. Н. Прикладная механика грунтов. М., Машстройиздат, 1949.
Огноченко В. П. К классификации инженерно-геологической изменчивости горных пород.— В кн.: Математические методы в инженерной геологии. М., «Наука», 1968.
Погребицкий Е. О., Терновой В. И., Скропышев А. В. и др. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Л., «Недра», 1968.
Погребицкий Е. О., Терновой В. И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. Л., «Недра», 1974.
Рац М. В. Неоднородности горных пород и их физических свойств. М., «Недра», 1968.
Родионов Д. А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М., «Недра», 1968.
Саваренский Ф. П. Инженерная геология. М.— Л., ОНТИ НКТП СССР, 1937.
Фридман Я. Б. Диаграмма структурной неоднородности.— Докл. АН СССР, 1956, т. 106, № 2.

КЮНЦЕЛЬ В. В., КРУПОДЕРОВ В. С., НЕСВЕТАЙЛОВА Н. Г.,
ОНГОТОЕВ А. Р., ПИСЦОВ М. Ю., СЕРГЕЕВА Н. С.,
ТАРАСОВА Г. И., ХОСИТАШВИЛИ Г. Р.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕБРОСКИ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК

В тематических работах ВСЕГИНГЕО важное место отводится разработкам инженерно-геологических и гидрогеологических прогнозов в связи с решением проблемы территориального перераспределения водных ресурсов. Основные усилия института по этой проблеме в соответствии с координационным планом Государственного комитета по науке и технике направлены на разработку методических основ и конкретных методов регионального прогноза возможных изменений инженерно-геологических и гидрогеологических условий на обширных территориях, попадающих в зону влияния проектируемых трасс переброски стока сибирских рек на юг. Сложность этой задачи усугубляется отсутствием опыта проведения инженерно-хозяйственных мероприятий по перераспределению водных ресурсов в таких крупных масштабах, какие проектируются в нашей стране. В этой связи особенно важно уже на ранних стадиях проектирования выявлять все возможные отрицательные последствия переброски стока рек, в том числе и ожидаемые масштабы, и интенсивность нарушения устойчивости территории.

В 1974—1976 гг. ВСЕГИНГЕО проводил комплексные инженерно-геологические исследования для ТЭО первой очереди переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря. Исследования проводились по трассе проектируемого магистрального канала Иртыш—Амударья и в зоне его возможного влияния. Ширина полосы обследования местами достигала 50 и более км. Объектом изучения являлись инженерно-геологические условия территории и в первую очередь экзогенные геологические процессы: заболачивание, речная и овражная эрозия, оползневые, суффозионные, просадочные, эоловые и некоторые другие.

Главной задачей региональных прогнозов являлось определение области возможного возникновения или активации исследуемых экзогенных геологических процессов под влиянием сооружения проектируемого магистрального канала. Кроме того, предпринимались попытки прогноза периодов возможной активации в будущем отдельных процессов, в частности оползней. При решении этих задач авторы столкнулись со значительными трудностями, связанными в первую очередь со слабой разработанностью методологических основ подобных исследований, а также с недостаточностью некоторых исходных данных, необходимых для регионального прогнозирования, в частности материалов о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории. Особое внимание при исследовании уделялось разработке новых и усовершенствованию существующих методов прогноза.

В качестве исходных материалов для прогнозов использовались материалы геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических съемок, проведенных на исследуемых территориях, дешифрования аэрофотоснимков различных масштабов, аэровизуальных и наземных обследований всей территории и отдельных опорных районов, данные инженерно-геологического опробования горных пород, режимных наблюдений за факторами, влияющими на развитие экзогенных геологических процессов, а также проектные данные о магистральном канале и возводимых на нем сооружениях.

Региональное прогнозирование осуществлялось в два основных этапа. На первом этапе производилась прогнозная оценка изучаемых процессов в естественных условиях. На основе принципа актуализма и представления об унаследованном развитии экзогенных геологических процессов определялась область наиболее активного развития процессов. На этом этапе использовались методы типологического прогнозного районирования территории и оценки ее пораженности различными экзогенными геологическими процессами. Прогноз периодов активизации отдельных геологических процессов дается на основе установленной ритмичности их проявлений, в частности распространения основных деформирующихся горизонтов горных пород и учета режима ведущих факторов, в том числе режима выпадения атмосферных осадков. На этом же этапе был произведен выбор опорных районов и участков, на которых в дальнейшем проводились более детальные исследования. На втором, основном этапе оценивалось взаимодействие природной обстановки и проектируемого сооружения, в данном случае проектируемого магистрального канала.

При региональных прогнозах наряду с применением некоторых известных приемов были использованы новые способы количественной прогнозной оценки развития экзогенных процессов в зоне, прилегающей к трассе канала. В опорных районах, где ожидается наивысшая активизация геологических процессов, прогнозная оценка производилась с детальностью масштаба 1:200 000, а для всей трассы проектируемого канала — 1:1 000 000.

Прогнозная оценка развития экзогенных геологических процессов в естественных условиях Срединного региона, производимая на первом этапе прогнозирования, имеет основной целью выделение районов наиболее активного проявления этих процессов и обоснованный выбор опорных (ключевых) районов. Для решения этих задач для всей исследованной территории была составлена карта распространения экзогенных геологических процессов в масштабе 1:1 000 000. Там, где это было возможно, проявления процессов показаны без искажения масштаба. Там же, где формы проявления процессов не выражались в масштабе, они изображались внemасштабными знаками, но с сохранением некоторых количественных характеристик. Например, длина оврагов, протяженность оползневых участков, показанных на карте, соответствуют их истинным значениям. Степень активности проявления процессов оценена по двухчленной шкале. В частности, на карте выделены свежие и старые формы проявления процессов.

В дополнение к карте распространения процессов была построена карта пораженности территории теми же процессами в масштабе 1:1 000 000 по методике, ранее разработанной во ВСЕГИНГЕО (Шеко и др., 1971). При этом в качестве основного параметра был принят коэффициент пораженности территории процессами, по Е. П. Емельяновой. Таксоны для вычисления этого коэффициента выделялись по геоморфологическим признакам, интегрально определяющим условия развития большинства экзогенных геологических процессов. На карте отчетливо оконтуриваются площади, на которых в настоящее время наиболее активно происходит развитие процессов.

В качестве основных признаков типологического районирования территории проектируемой трассы канала, определяющих особенности инженерно-геологических условий и степень активности экзогенных геологических процессов, были выбраны состав стратиграфо-литологических комплексов пород, ожидаемые изменения гидрологических условий после сооружения канала (что определяется по соотношению уровня грунтовых вод с проектируемым уровнем воды в канале), направленность современных тектонических движений, энергия рельефа, годовое количество атмосферных осадков, глубина канала. Каждый признак разделялся на три класса, при этом наиболее благоприятными для развития экзогенных геологических процессов оценивались условия первого класса, а наименее благоприятными — условия третьего класса.

Для всей трассы канала были построены аналитические карты каждого признака с выделением на них каждого класса. Затем производилось совмещение карт и выделение элементарных участков, отличающихся различными сочетаниями классов признаков. По числу признаков (шесть) каждому участку присваивался шестизначный индекс. Количественное влияние всех учитываемых факторов на устойчивость территории оценивалось в баллах путем подсчета суммы чисел, входящих в индекс. При этом наибольшей сумме баллов соответствовала наивысшая степень устойчивости территории по отношению к исследуемым процессам. Выбор опорных районов производился по сумме баллов с учетом значений I класса.

В результате этих операций в пределах исследуемой территории по степени ее устойчивости к воздействию экзогенных геологических процессов были выделены три категории районов: с низкой (число низших баллов 3—4), средней (2 низших балла) и высокой (0—1 балл) относительной устойчивостью территории. Подобная оценка контролировалась полученными сведениями об активности экзогенных геологических процессов в пределах районов соответствующих категорий. Как показали дальнейшие исследования, выбранные данным методом опорные районы были весьма представительными, а сделанная предварительная оценка устойчивости территории, хотя и нуждалась в некоторой детализации, в целом достаточно точно отражала современное ее состояние.

В опорных районах были проведены более детальные исследования в масштабе 1 : 200 000. В комплекс исследований входили предварительное дешифрирование аэрофотоснимков, аэровизуальные и наземные маршруты с инженерно-геологическим опробованием пород и детальным описанием проявлений оползневых, эрозионных, просадочных, суффозионных и других процессов. В результате этих исследований было установлено значительное развитие указанных процессов на отдельных участках трассы и в прилегающих к ней районах. В частности, впервые выявлено широкое распространение оползневых процессов в долинах левых притоков рек Тобол, Утек, Чернявая, Черновка, Алабуга и др., долине р. Кундузды, на правобережье р. Тургай, по берегам оз. Шантуз и т. д. Оползни часто имеют фронтальную форму. Протяженность некоторых из них составляет 300—400 м.

Образование оползней в данном регионе прежде всего связано с наличием в основании склонов глинистых пород чеганской свиты палеогена. Длительное выветривание этих пород привело к образованию мощной коры выветривания на большой площади и уменьшению их прочностных характеристик. Другим важным фактором образования оползней в данном регионе является активная деятельность речной и овражной эрозии, а на больших озерах — абразии. По своему механизму оползни относятся к типу сдвига и приурочены к зоне выветривания чеганских глин. Под воздействием эрозии и других факторов происходит медленное движение блоков пород в сторону реки (озера), которое пе-

риодически завершается быстрым смещением, иногда носящим катастрофический характер.

Кроме оползней детально изучались с инженерно-геологических позиций процессы эрозии и просадочные явления. Для этой цели произведена классификация пород по водопрочности. Было установлено, что время размокания глинистых пород является функцией их основных физических характеристик (влажности, объемной массы, пористости и грануляции). Исследованы блюдцеобразные понижения просадочного и суффозионного генезиса, широко развитые на обширных водораздельных пространствах в междуречье Тобола — Ишима и в Тургайской ложбине. Судя по форме проявлений, можно считать, что активная стадия этих процессов в основном завершена.

О ходе развития экзогенных геологических процессов во времени определенное представление дают данные об изменении общей увлажненности территории и гидрологического режима рек. Многолетние исследования А. В. Шнитникова (1963) показали, что в уровне режиме озер Западной Сибири и Казахстана выделяется ряд трансгрессивных и регressive фаз. Наиболее отчетливо выделяется 30—35-летний ритм увлажненности. На основе анализа других внутриквартальных ритмов с использованием метода гармонического анализа, авто- и взаимокорреляции, метода сглаживания кривых, а также расчетов О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой (1971) установлены некоторые временные закономерности. В частности, анализ рядов количества атмосферных осадков, как годовых, так и по отдельным сезонам, показал, что в некоторых частях Срединного региона прогнозируемые значения положительных экстремумов в ближайшие 10—15 лет не должны превышать многолетние и даже будут несколько ниже средних их значений. Однако осадков существенно колеблются, что необходимо учитывать при долговременных прогнозах экзогенных геологических процессов. Общий вывод, который был нами сделан в результате детального анализа и обработки на ЭВМ этих данных, заключается в следующем: при естественном ходе развития геологических процессов в Срединном регионе в ближайшие десятилетия сохранятся условия, близкие к современным.

На втором этапе прогнозирования производилась оценка воздействия проектируемого канала на развитие экзогенных геологических процессов и соответственно их влияние на устойчивость его бортов и основания. При этом был дан прогноз ожидаемого развития отдельных геологических процессов и их комплексного воздействия.

Для оценки общей устойчивости бортов канала был использован сравнительно-геологический метод, разработанный Е. П. Емельяновой и модифицированный нами для решения данной задачи. В качестве аналогов использованы природные склоны, в основании которых залегают чеганские глины. На построенном графике зависимости высоты от заложения склонов выделены четыре зоны с различными значениями устойчивости склонов. Учитывая типовые соотношения геометрических параметров проектируемого канала и инженерно-геологические условия по линии его трассы, получены значения относительной устойчивости откосов канала на различных его участках. Установлено, что при заданных его сечениях на ряде участков возможны оползневые деформации, связанные с выветрелыми глинами чеганского возраста. Эти данные сопоставлялись с результатами регионального прогноза, полученными другими методами. В частности, был использован метод геодинамического потенциала, основы которого изложены в работе К. А. Гулакяна и др. (1977). Метод позволяет количественно учесть влияние на устойчивость территории ведущих природных и техногенных факторов. Вероятностная оценка устойчивости производится на основе учета проявлений экзогенных геологиче-

ских процессов. В качестве интегрального показателя принят геодинамический, в частном случае оползневой, эрозионный или супфозионный потенциал, определяющий относительную вероятность возникновения или активизации этих процессов на изучаемой территории.

Стадия обучения, предусмотренная по этому методу, осуществлялась на одном из опорных пунктов на левобережье р. Тобол к югу от г. Курган, где водораздельный склон прорезан многочисленными притоками Тобола, а в его нижней части залегают чеганские глины. Для этого района были рассчитаны оползневой и эрозионный потенциалы, на основе которых дано районирование территории по степени устойчивости (Кюнцель и др., 1978). По тем же признакам было произведено районирование территории в зоне трассы канала с учетом его проектируемых параметров. Затем вычисленные на участке-аналоге вероятности экстраполировались на зону канала, и строилась карта прогнозного районирования по потенциалам отдельных процессов и общему геодинамическому потенциальному. Например, были выделены районы с низкой (потенциал менее 0,4), средней (0,4—0,7) и высокой (более 0,7) относительной вероятностью возникновения оползней. Тем самым выделились участки вдоль трассы канала, где оползневая опасность при его строительстве и эксплуатации может быть наиболее значительной.

Ввиду того, что расчеты потенциалов, полученные на участках-аналогах, не могут быть распространены на всю огромную по протяженности трассу канала, а сами участки-аналоги имеются не во всех районах, нами использован еще один метод оценки устойчивости территории. Он заключается в условном определении значений относительных вероятностей в пределах анализируемых классов признаков. На основе теоретических соображений и экспериментальных оценок были выбраны три категории вероятностей: 0,3; 0,5 и 0,7. В набор признаков, определяющих вероятность возникновения оползней в зоне канала, были включены характеристики стратиграфо-литологических комплексов пород, слагающих борта канала, глубина его вреза и крутизна откосов. В случае отсутствия какого-либо из выбранных признаков вероятность реализации события принималась равной нулю. Расчет оползневого, так же как и других потенциалов, производился по той же формуле геодинамического потенциала (Гулакян и др., 1977), что и в первом методе. Прогнозная оценка производилась для обоих бортов канала, причем по степени устойчивости выделялись участки с высокой, средней и низкой вероятностью возникновения оползней и других процессов. В результате было установлено, что в пределах трассы канала имеется ряд участков, потенциально опасных в отношении оползневого, эрозионного, эолового и других процессов. Сопоставление результатов выполненных для опорных районов прогнозов, составленных по разным методам, показало удовлетворительную их сходимость. В случае утверждения данного варианта трассы канала на последующих стадиях проектирования необходимо уделить особое внимание выделенным опасным участкам, где необходимо произвести уточняющие расчеты устойчивости откосов и связанные с этим исследования.

Для всей трассы канала и более детально для опорных районов по вышеизложенной методике построены карты общих геодинамических потенциалов, главной целью которых является выделение тех районов и участков, где наиболее активно может происходить развитие изучаемых парагенетических комплексов экзогенных геологических процессов. Приемы подобного регионального прогноза еще не нашли широкого применения ни у нас, ни за рубежом. В связи с этим предлагаемые методы представляются нам достаточно перспективными при решении задач указанного класса. В настоящее время на основе аналогичных и нескольких иных принципов разрабатываются соответствующие программы с применением ЭВМ.

Прогноз экзогенных геологических процессов, выполненный ВСЕГИНГЕО по трассе канала Иртыш — Амударья, не ограничивается вышеназванными методами. Помимо указанных, различными количественными методами производился прогноз эрозионных, просадочных, супфозионных, эоловых процессов, а также процессов заболачивания. Некоторые прогнозные выводы сделаны на уровне экспертных оценок и нуждаются в последующем уточнении. Так, прогноз процесса заболачивания основывается на комплексном анализе территории с учетом ее гипсометрического уровня, степени расчленения поверхности земли, характера и свойств покровных отложений и гидрогеологических условий. При этом принимается во внимание степень современной заболоченности территории, формы проявления процесса, закономерности его естественного развития под влиянием циклических изменений климата и других факторов, а также прогноз изменения уровня залегания грунтовых вод. Указанная методика была применена для долины Иртыша между Белогорьем и р. Тобол и позволила прогнозировать значительное усиление в будущем процесса заболачивания, в основном на левобережье Иртыша.

Анализ результатов исследований, выполненных ВСЕГИНГЕО по предложенным методам, позволяет сделать ряд выводов о возможности развития экзогенных геологических процессов в Среднем регионе в зоне влияния трассы проектируемого канала. Основными из них являются:

1. Пораженность территории экзогенными геологическими процессами невелика (обычно не превышает 1—5%), за исключением процессов заболачивания, захватывающих обширные пространства на севере исследованной площади, а также эоловых процессов — на юге. В отдельных районах заметное развитие имеют оползни, связанные с чеганскими глинами.

2. В результате строительства канала на ряде участков может произойти активизация некоторых экзогенных геологических процессов, в первую очередь речной и овражной эрозии, оползней, местами эоловых и супфозионных процессов. Следует также учитывать возможность заилиения канала за счет аккумуляции твердого материала, поступающего в канал. При существующем проектном решении далеко не на всех участках будет обеспечена устойчивость бортов канала. Помимо оползней блокового типа, связанных с чеганскими глинами, на отдельных участках можно ожидать образования оползней выплыивания, связанных с водонасыщенными песками и пылеватыми породами аллювиального и озерно-аллювиального происхождения.

3. Проведенные прогнозные оценки развития экзогенных геологических процессов показали, что при сооружении канала вероятность активации этих процессов неодинакова в различных частях исследованной территории. Например, вероятность активации эрозионных процессов особенно велика в районах озер Тениз-Урицкий, Куйкколь и Тургай. Наиболее высокий оползневой потенциал определен на ряде участков канала на отрезке от г. Курган до устья р. Убаган, в районе оз. Сарыкопа, пос. Тургай, а также на некоторых участках Приаральских Каракумов, между городами Иргиз и Аральск. Наиболее неблагоприятные участки в отношении возможности активизации эоловых процессов расположены в Приаральских Каракумах и Кызылкумах и т. д.

Опыт, накопленный ВСЕГИНГЕО при региональном прогнозировании экзогенных геологических процессов в зоне влияния переброски стока сибирских рек, в настоящее время успешно используется при решении аналогичных задач применительно к другим вариантам переброски стока. В частности, в этом году институт завершил составление прогнозов изменений инженерно-геологических условий для зоны влияния трассы переброски стока р. Печоры. В основу выполненных прогнозов былложен принцип комплексной оценки устойчивости территории и ее изме-

нения на основе учета факторов. Разработанная для этой цели методика, построенная на применении ЭВМ, позволяет обработать большой объем разнообразной как количественной, так и качественной информации о факторах, определяющих устойчивость территории после осуществления проекта переброски стока рек, и получить на ЭВМ соответствующую карту заданного масштаба.

ВСЕГИНГЕО

Поступила в редакцию
24.I.1979 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Гулакян К. А., Кюнцель В. В., Постоев Г. П. Прогнозирование оползневых процессов. М., «Недра», 1977.
Дроздов О. А., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1971.
Кюнцель В. В., Тарасова Г. И., Онготоев А. Р., Сергеева Н. С. Опыт регионального прогноза влияния проектируемого канала по переброске стока рек на развитие оползневых процессов.— Тр. ВСЕГИНГЕО, 1978, вып. 119.
Шеко А. И., Лехатинов А. М., Максимов М. М. и др. Оценка интенсивности проявления экзогенных геологических процессов при инженерно-геологическом картировании.— Тр. ВСЕГИНГЕО, 1971, вып. 43.
Шнитников А. В. Внутрирековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л., Изд-во АН СССР, 1963.

БАУЛИН В. В., ЧЕРНЯДЬЕВ В. П.

МЕРЗЛОТНЫЕ УСЛОВИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ВОПРОСЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ПЕРЕБРОСКОЙ ЧАСТИ СТОКА РЕК В ЮЖНЫЕ РАЙОНЫ

Широкий размах освоения природных богатств Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока выдвинул в ряд актуальных проблем проблему рационального использования окружающей среды. В области развития многолетнемерзлых пород (ММП) охрана окружающей среды актуальна еще и потому, что в большинстве случаев существующие природные ландшафты находятся в динамически неустойчивом равновесии и достаточно незначительного вмешательства человека для необратимого процесса разрушения этих ландшафтов. Нарушение природного равновесия, как правило, вызывает активизацию мерзлотных процессов: термо-карста, термоэрозии, термоабразии, пучения, солифлюкции, наледеобразования, морозобойного растрескивания, которые являются опасными не только с точки зрения устойчивости сооружений, но и возможных преобразований природной среды. В связи с проектируемой переброской части стока крупных рек Западной Сибири в южные районы изменения природной среды могут затронуть большие территории равнины. Поэтому очень важно предвидеть эти изменения природной среды и разработать мероприятия, исключающие нежелательные последствия инженерно-геологических процессов.

В настоящей работе основное внимание удалено вопросам исследования возможных изменений мерзлотных условий в связи с переброской части стока крупных рек в южные районы.

Многолетнемерзлые породы занимают большую часть Западно-Сибирской равнины, простираясь с севера на юг более чем на 1000 км. Естественно, что на различных широтах мерзлые толщи обладают различными свойствами (Баулин и др., 1967). На самом севере равнины мерзлые породы сплошным чехлом покрывают всю сушу; на 66° с. ш. среди мерзлых массивов встречаются отдельные талики, количество и размеры которых увеличиваются к югу. Наиболее южные участки распространения вечномерзлых пород (60—61° с. ш.) приурочены к темнохвойным лесам с большой сомкнутостью крон и мощным моховым покровом.

Средняя годовая температура мерзлых пород (на глубине 5—20 м) изменяется с севера на юг от —9 до 0°. Специфической особенностью распределения температуры в мерзлых грунтах Западной Сибири является существование широкой зоны (300—400 км), где температура грунтов колеблется от 0 до —1, —2°.

Анализ всех имеющихся сведений о мерзлых породах севера Западной Сибири позволяет разделить всю область с мерзлыми толщами на три мерзлотные зоны: зону сплошного распространения ММП, зону прерывистого распространения ММП и зону потенциального образования ММП.

Зона сплошного распространения ММП совпадает с зонами тундры и лесотундры. Она характеризуется сплошным распространением мерзлых пород, низкими отрицательными температурами и большой мощностью мерзлой толщи. На севере зоны распространены преимущественно полигенетические мерзлые породы. Они занимают все элементы рельефа верхнеплейстоценового возраста и мелководную часть Карского моря. Мощность мерзлой толщи достигает 300—500 м, среднегодовая температура пород меняется в пределах от —9 до —5°. Мощность горизонта, промерзшего сингенетическим способом, колеблется от 3—5 до 10—15 м. Льдистость этого горизонта очень высокая и составляет 50—70%. В разрезах четвертичных отложений встречаются пластовые залежи льда, вскрывающиеся на глубинах от нескольких метров до нескольких десятков метров. Их мощность достигает 10—15 м, а протяженность — 100—300 м и более. Мощность повторножильных льдов достигает 10—12 м.

В южной части зоны на всех элементах рельефа распространены породы, промерзшие эпигенетическим способом. Среднегодовая температура пород колеблется в пределах от —1 до —6°; мощность мерзлой толщи составляет 100—400 м. Значительная льдистость отложений 30—50% прослеживается до глубины 10—15 м.

Зона прерывистого распространения ММП расположена в северной части лесной зоны. Южная граница ее проходит по 61—62° с. ш. Для зоны характерно несплошное распространение ММП как по площади, так и по глубине. По способу формирования мерзлые породы зоны относятся к эпигенетическому типу.

Талики и псевдоталики приурочены к понижениям микро- и мезорельефа и к залесенным, в первую очередь песчаным, участкам. В центре зоны ММП сохраняются лишь в безлесных торфяниках и в сильно замшелых лесах, на юге — только на торфяниках. Температура мерзлых пород в лесах выше —1°, на безлесных участках она опускается до —2°, а в отдельных торфяных буграх на севере зоны — до —4°. На юге зоны температура пород близка к 0°. Монолитная мерзлая толща наблюдается лишь на тундровых участках на севере зоны. Для залесенных участков характерно двухслойное строение.

В зоне потенциального образования ММП нередко встречаются перелетки и отдельные редкие острова ММП. Однако при нарушении природных условий создаются условия для многолетнего промерзания пород и развития криогенных процессов. Реликтовые мерзлые толщи на территории севера зоны вскрываются на глубинах от 100—250 до 350—400 м.

Прогноз изменения мерзлотных условий в результате переброски части стока рек на юг для территории Западной Сибири связан с рядом трудностей. В настоящее время остается невыясненным характер изменения и количественная оценка факторов, определяющих устойчивость и свойства ММП в связи с таким масштабным техногенным воздействием на окружающую среду. Сложность заключается и в том, что при анализе техногенных воздействий на окружающую среду приходится учитывать сочетание различных нарушений. Это значительно усложняет прогноз мерзлотных условий, основанный на аналитических и численных методах расчета теплообмена. Значительные трудности, возникающие при прогнозе, связаны с отсутствием необходимой методики прогноза ряда параметров в расчетных схемах. Такая методика должна основываться на всестороннем исследовании взаимосвязи различных природных факторов, обуславливающих процессы промерзания — протаивания и теплообмена в поверхностных слоях земной коры.

Сложность тепло-массообмена в грунтах и напочвенных покровах и современный уровень знаний физики этих процессов не позволяют в настоящее время аналитически подойти к прогнозированию изменения природных факторов. Поэтому единственным надежным инструментом получения такой информации пока являются режимные наблюдения за теп-

лообменом в грунтах, напочвенных покровах и приземном слое атмосферы, позволяющие количественно оценить изменение расчетных параметров непосредственно на объектах исследования. Как показали исследования ПНИИИС на Уренгойском стационаре, где воспроизвелись некоторые наиболее часто встречающиеся на практике техногенные нарушения природной среды, они влекут за собой изменение целого ряда параметров, обуславливающих тепловой режим верхних горизонтов ММП.

В результате отсыпки песка мощностью 0,3 м на участке с моховым покровом произошли, например, существенные изменения природных факторов. Увеличилась влажность торфа слоя сезонного протаивания в среднем на 40% по сравнению с естественными условиями, что, видимо, связано с увеличением мощности СТС (сезонноталого слоя) под отсыпкой и образованием локальной чаши протаивания, в которой скапливается избыточная влага. Кроме того, резко снизилось испарение в этом горизонте, которое также сказалось на характере увлажнения торфяного горизонта. Увеличение мощности СТС под отсыпкой на 0,15 м свидетельствует о значительном изменении теплоизоляционных свойств напочвенного покрова, подвергшегося уплотнению и некоторому дополнительному увлажнению. По сравнению с естественными условиями коэффициент теплопроводности мохового покрова за летний период увеличился в 2 раза. Несмотря на значительное снижение теплоизоляционных свойств напочвенного растительного покрова, приведшего к увеличению СТС, в результате отсыпки произошло заметное понижение среднегодовой температуры грунта на подошве СТС (с —3,2 до —5,2°). За годовой цикл существования отсыпки на поверхности понижение среднегодовой температуры грунта прослеживается до глубины 6,0 м. Понижение среднегодовой температуры грунта связано с отсутствием снежного покрова, который практически полностью здесь сдувался. Таким образом, в результате отсыпки изменение отдельных факторов, таких, как уплотнение напочвенного мохового покрова, увлажнение поверхностного слоя грунта, приводит к интенсификации теплообмена в теплый период, а отсутствие снежного покрова значительно увеличивает охлаждение грунта в зимний период. Наблюдения за теплопотоками свидетельствуют, что за счет отсыпки возрастают теплообороты через поверхность по сравнению с естественными условиями.

На участке с удаленным мохово-торфяным покровом мощностью 0,2—0,3 м произошло увеличение мощности СТС за один летний сезон на 0,25—0,30 м, а за два сезона — на 0,5 м. При этом произошла осадка за счет протаивания льдистого грунта и последующего его уплотнения на 0,1—0,15 м.

Естественный дренаж территории обуславливает только эпизодическое существование горизонта воды на поверхности, что не способствовало начальной стадии развития термокарста.

За счет искусственного снижения уровня дневной поверхности в результате удаления мохово-торфяного покрова произошло существенное изменение в характере снегонакопления. Максимальная мощность снежного покрова по сравнению с естественными условиями увеличилась на 0,6—0,7 м. Согласно наблюдениям, теплообороты через поверхность за теплый период составили 35 500 ккал/м², а за холодный — минус 17 400 ккал/м², т. е. произошло резкое сокращение теплооборотов через поверхность в холодный период и некоторое их увеличение в теплый период. Таким образом, за счет удаления мохового покрова произошло изменение других природных факторов, что способствовало созданию условий для многолетнего протаивания.

Вышеприведенные результаты режимных наблюдений свидетельствуют о значительных и разнообразных изменениях мерзлотных условий в связи с техногенным воздействием на окружающую среду. При переброске части стока рек на юг прежде всего следует ожидать изменения влаж-

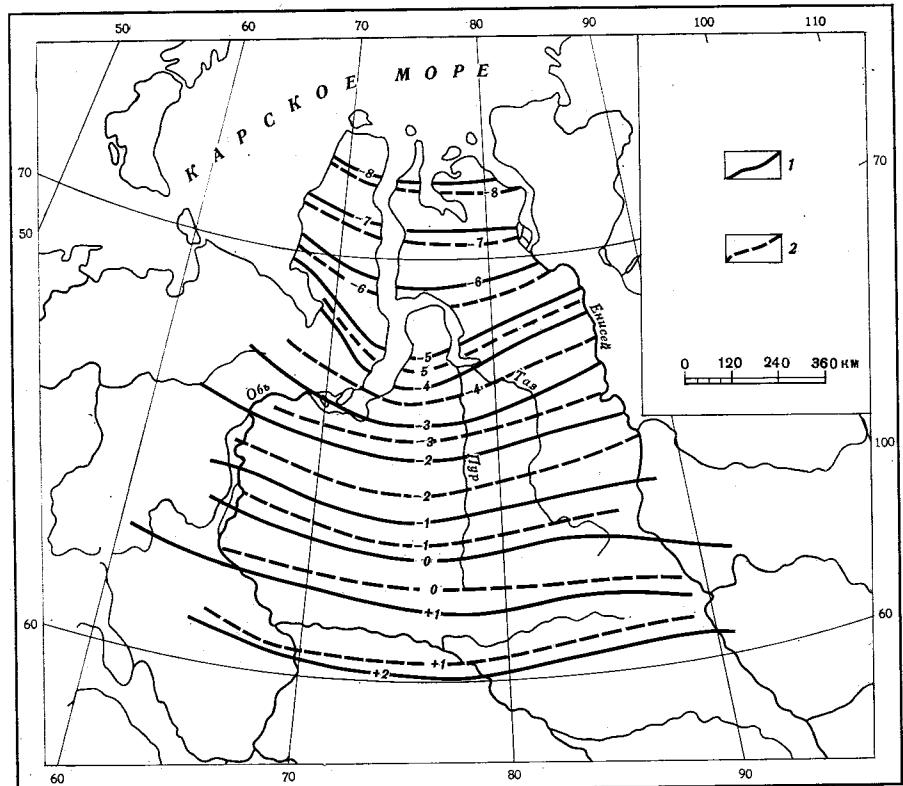


Рис. 1. Значение среднегодовых температур суглинистого грунта при различной степени увлажнения: 1 — влажность грунта 15%; 2 — влажность грунта 30%

ностного режима грунтов слоя промерзания — протаивания и увлажненности мохово-торфяного покрова, который для территории Западной Сибири, как известно, является наиболее типичным и широко развитым. Поэтому в дальнейшем попытаемся количественно оценить именно влияние различной степени увлажнения на формирование мерзлотных условий территории Западной Сибири.

Основными результирующими характеристиками теплообмена и процессов промерзания — протаивания в грунтах являются мощность СТС, СМС и среднегодовая температура на подошве СТС, СМС. Располагая закономерностями изменения этих характеристик, удается установить тенденцию изменения мерзлотных условий и направленность проявления наиболее опасных мерзлотных процессов и явлений.

На картах (рис. 1 и 2) приведены значения среднегодовых температур грунта и мощности СТС, СМС в зависимости от степени увлажнения приповерхностного слоя грунта с учетом дернового покрова и колебания влажности суглинистого грунта слоя сезонного промерзания — протаивания от 15 до 30%. Расчеты выполнены по методике (Чернядьев, 1974, 1976), учитывающей основные природные факторы, определяющие тепловую режим грунтов.

Согласно полученным данным, изменение среднегодовой температуры грунта даже для столь существенного колебания влажности грунтов весьма незначительно. На севере Западной Сибири оно составляет 0,2—0,3°, а на юге увеличивается до 0,9°. Однако для центральной части территории такие изменения оказываются довольно существенными, так как приводят к качественным изменениям теплового состояния пород. В одних случаях произойдет новообразование мерзлых толщ, а в других следует

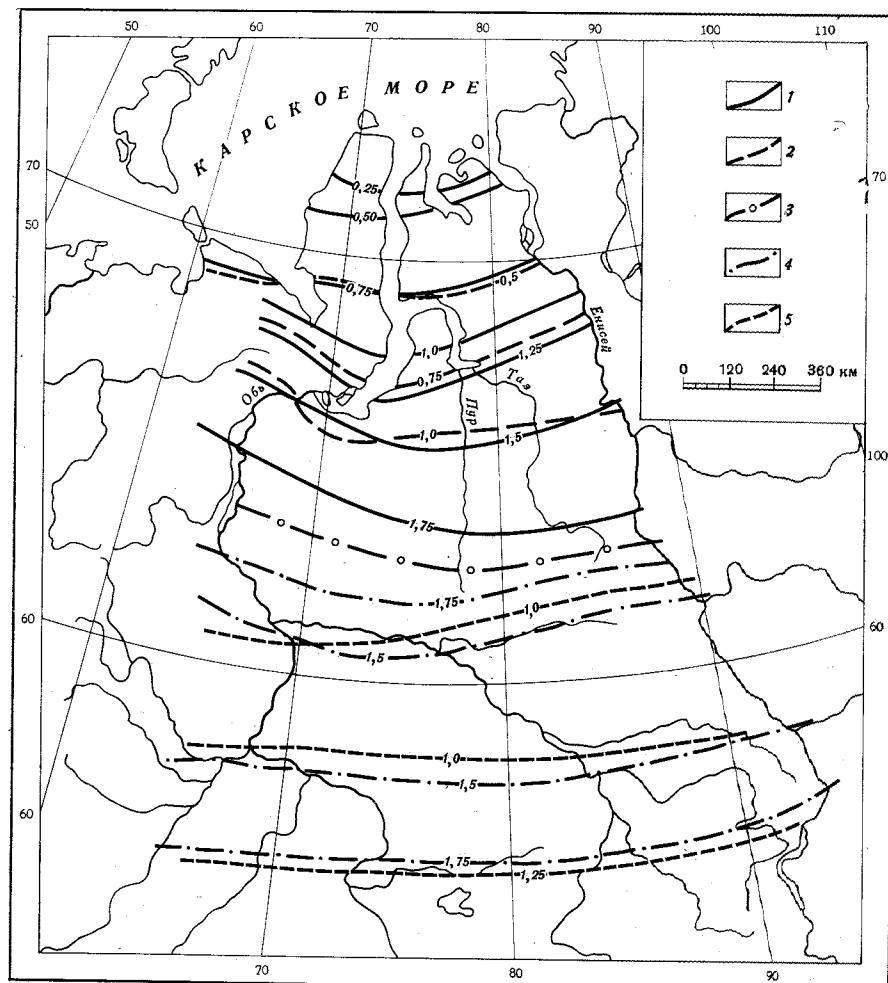


Рис. 2. Мощность СТС и СМС суглинистого грунта различной степени увлажнения: 1 — мощность СТС при влажности грунта 15%; 2 — мощность СТС при влажности грунта 30%; 3 — южная граница распространения мерзлых толщ при наличии на поверхности дернового покрова и суглинистого грунта; 4 — мощность СМС при влажности грунта 15%; 5 — мощность СМС при влажности грунта 30%

ожидать их протаивания и, как следствие, проявления пучения, термокарста и термоэррозии.

Осушение или заболачивание территории весьма значительно сказывается и на мощности СТС, СМС (рис. 2). На севере Западной Сибири при изменении влажности грунтов от 30 до 15% мощность СТС увеличивается вдвое. В большинстве случаев верхние горизонты мерзлых толщ здесь льдонасыщены, и такие изменения могут оказаться довольно опасными. Так, на хорошо дренированных участках произойдет понижение уровня поверхности территории. Это в свою очередь может изменить характер снегонакопления и вызвать дополнительное протаивание льдистых грунтов. Снижение уровня поверхности в то же время способствует процессам термоэррозии. Протаивание льдистого горизонта может в дальнейшем привести к заболачиванию территории и интенсификации процесса термокарста.

В центральных районах Западной Сибири уменьшение влажности грунтов приведет к увеличению мощности СМС (рис. 2). При наличии на поверхности мохово-торфяного покрова осушение или заболачивание

территории в центральной части и на юге Западной Сибири может вызвать качественное изменение теплового состояния пород. Поэтому здесь следует ожидать проявления таких процессов, как термокарст, пучение и термоэрзия. В придолинных участках, где талые участки обусловлены гидрогеологическим фактором, сокращение стока рек в большинстве случаев должно способствовать новообразованию многолетнемерзлых пород. Планируемая переброска части стока рек на юг связана и с созданием водохранилищ, которые могут существенно изменить микроклимат территории и вызвать протаивание мерзлых толщ на значительной площади.

В заключение следует отметить, что анализ изменения мерзлотных условий Западной Сибири в связи с переброской части стока рек в южные районы требует всестороннего и комплексного исследования закономерностей влияния основных природных факторов на устойчивость и свойства мерзлых толщ. Вопросы прогноза мерзлотных условий можно решить только при постановке специальных режимных наблюдений за теплообменом в грунтах и мерзлотными процессами с учетом наиболее вероятных нарушений природной обстановки. При этом особое внимание нужно обратить на возможные изменения влажностного режима грунтов, определяющего их тепловое состояние, глубины сезонного промерзания и протаивания и в конечном итоге развитие и интенсивность проявления эрозионных и термоэрзационных процессов.

Производственный и научно-исследовательский
институт инженерных изысканий в строительстве

Поступила в редакцию
9.I.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Баулин В. В., Белопухова Е. Б., Дубиков Г. И., Шмелев Л. М. Геокриологические условия Западной Сибири. М., «Наука», 1967.
Черняев В. П. Методика определения и прогноза среднегодовой температуры грунта.— Тр. ПНИИС, вып. 29. М., Стройиздат, 1974.
Черняев В. П. Влияние природных факторов на мощность сезонноталого слоя грунтов.— Тр. ПНИИС, вып. 49. М., Стройиздат, 1976.

ПОЛЯКОВ А. С., ОСИПОВ В. И., КОТЛОВ В. Ф.,
КУПРИН П. Н.

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТЕКСТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАКИНСКОГО АРХИПЕЛАГА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ИХ ИЗ СТАДИИ ДИАГЕНЕЗА В СТАДИЮ КАТАГЕНЕЗА

С 1970 г. лабораторией морской геологии совместно с кафедрой грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ проводится комплексное исследование формирования физико-механических свойств субаквальных глинистых отложений в процессе литогенеза.

Первые совместные исследования отложений Бакинского архипелага, вскрытых скважинами 7 и 9, позволили установить закономерное изменение микротекстуры и физико-механических свойств осадков от поверхности дна до глубины 60—120 м (Поляков, 1975; Поляков и др., 1976). Изучение этих отложений показало, что они находятся на стадии диагенеза.

Следующая задача совместных исследований, обсуждению результатов которых и посвящена данная статья,— выяснение особенностей изменения состава, строения и физико-механических свойств глинистых пород при переходе их из стадии диагенеза в стадию катагенеза. С этой целью нами изучены более древние отложения Бакинского архипелага, вскрытые двумя скважинами. Первая скважина (№ 15) была пробурена в 6 км западнее банки Макарова на глубине моря 15 м. Из отложений, вскрытых этой скважиной, с глубин 40—250 м было отобрано 15 монолитов. Из второй скважины (№ 16), пробуренной в 4,5 км северо-западнее о. Лось, было отобрано 50 монолитов с глубин 280—1255 м.

Методика исследований

Для характеристики состава и структурно-текстурных особенностей рассматриваемых отложений Бакинского архипелага исследовали минеральный состав глинистой фракции, определяли содержания C_{org} и $CaCO_3$, был выполнен гранулометрический анализ, изучали микротекстуру, анализировали содержание различных видов воды.

Минеральный состав глинистой фракции исследовался на дифрактометре ДРОН-1,5. По методу Ч. Уивера (Weaver, 1967) В. Г. Шлыковым (Куприн, Шлыков и др., 1976) определялось количественное содержание глинистых минералов во фракции $<0,001$ мм.

Содержание органического углерода изучалось по методу И. В. Тюрина (1937). Гранулометрический состав и содержание $CaCO_3$ определялись по методикам, разработанным П. Ф. Мельниковым (1956, 1968).

В качестве основного метода для количественной оценки микротекстуры, под которой мы понимаем пространственное расположение—ориентацию глинистых частиц и микроблоков, слагающих породу (Сер-

геев и др., 1971) был применен рентгеновский метод. По результатам исследования определяли степень ориентации C_p для каждой точки опробования (монолита) (Котлов, Соколов, 1975). При идеальной ориентации частиц в плоскости напластования $C_p=1$, при хаотичной ориентации частиц $C_p=0,5$.

Кроме того, для некоторых образцов Б. А. Соколовым изучалась текстура методом магнитной анизотропии (Котлов, Соколов, 1975). Коэффициент магнитной анизотропии (A) рассчитывали по формуле

$$A = \frac{\kappa_{xx} + \kappa_{yy}}{2\kappa_{zz}},$$

где κ_{xx} , κ_{yy} и κ_{zz} — векторы магнитной восприимчивости в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. При ориентации глинистых частиц по напластованию $A>1$, а перпендикулярно ему $A<1$. При отсутствии ориентации $A=1$. Кроме того, определялся угол наклона максимального вектора магнитной восприимчивости к плоскости напластования (ϕ).

Естественную гигроскопическую влажность, а также максимальную молекулярную влагоемкость, влажности на границах пластичности, плотность, объемную массу и пористость пород изучали методами, широко используемыми в грунтоведении (Сергеев и др., 1971; Чаповский, 1975).

Скорость распространения ультразвуковых продольных волн измеряли на приборе УКБ-1 в направлениях, перпендикулярных и параллельных напластованию.

Прочность грунтов определяли с помощью конического пластометра и методом двухплоскостного среза на приборе МП-2С (Щукин и др., 1971). При двухплоскостном срезе испытывали образцы в виде балочек размером $40 \times 15 \times 10$ мм. По кривым изменения деформации от напряжения рассчитывали максимальное напряжение сдвига ($\tau_{max}=F_{max}/2S$), характеризующее прочность образца ненарушенного сложения, и минимальное, остаточное напряжение сдвига ($\tau_{min}=F_{min}/2S$), характеризующее прочность образца нарушенного сложения. Прямолинейный участок на графике зависимости напряжения от деформации до начала сдвига рассматривали как процесс упругого сжатия образца и для этого участка графика рассчитывали модуль упругости ($E_s=\sigma/e$). Прочность некоторых образцов характеризовалась также раздавливающим усилием при одноосном сжатии, диаметр образцов 15—20 мм, высота 22—40 мм. Для исследования анизотропии механических свойств пород прочностные свойства образцов определяли в двух направлениях — перпендикулярно и параллельно напластованию. В каждом случае выполнялось по два-три определения, по которым рассчитывали среднее значение.

Кроме того, для характеристики пород в качестве расчетных показателей использовали показатель консистенции (B) и показатель уплотненности (K_d) по В. А. Приклонскому.

Результаты исследований

Результаты исследований представлены в виде графиков изменения показателей состава, микротекстуры и физико-механических свойств глинистых отложений Бакинского архипелага по сводному разрезу скважин 7, 9, 15 и 16 (рис. 1, 2). Для построения этих графиков до глубины 100 м рассчитывали усредненные значения показателей через каждые 10 м, а от 100 до 1255 м — через каждые 50 м. Более ранние данные, полученные по скважинам 7 и 9, которыми были вскрыты самые молодые отложения Бакинского архипелага, приведены с тем, чтобы полнее проиллюстрировать постседиментационные изменения изученных глинистых пород в интервале глубин 40—1255 м.

Состав и структурно-текстурные особенности изученных отложений. Самые верхние отложения, отобранные из скважины 15 с глубины 40—80 м, относятся к хвалынскому ярусу. Они представлены глинами пластичными, серыми, темно-серыми и коричневато-серыми с примесью песчаного материала. Встречаются отдельные прослои серого тонкозернистого песка мощностью до 0,5 см и обломки раковин.

От 80 до 250 м залегают хазарско-бакинские отложения. До глубины 125 м они представлены серыми и темно-серыми, сильно песчанистыми. Отмечаются прослои песка мощностью до 10 см с примесью гальки и гравия. Ниже залегают глины серые и коричневые с незначительной примесью алевритового материала. В интервале 240—250 м хазарско-бакинские отложения представлены глинами серыми, песчанистыми с грязевулканической брекчией.

До 318 м скважиной 16 были вскрыты породы бакинского яруса. Они представлены глинами темно-серыми, слабоалевритистыми с прослойками и включениями сульфидного железа.

С 318 до 476 м залегают отложения верхнеапшеронского подъяруса. Это в основном глины серые, темно-серые, коричневые, плотные, с тонкими прослойками рыхлых, глинистых, мелкозернистых песков и алевритов. Часто наблюдаются линзовидные включения сульфидов железа.

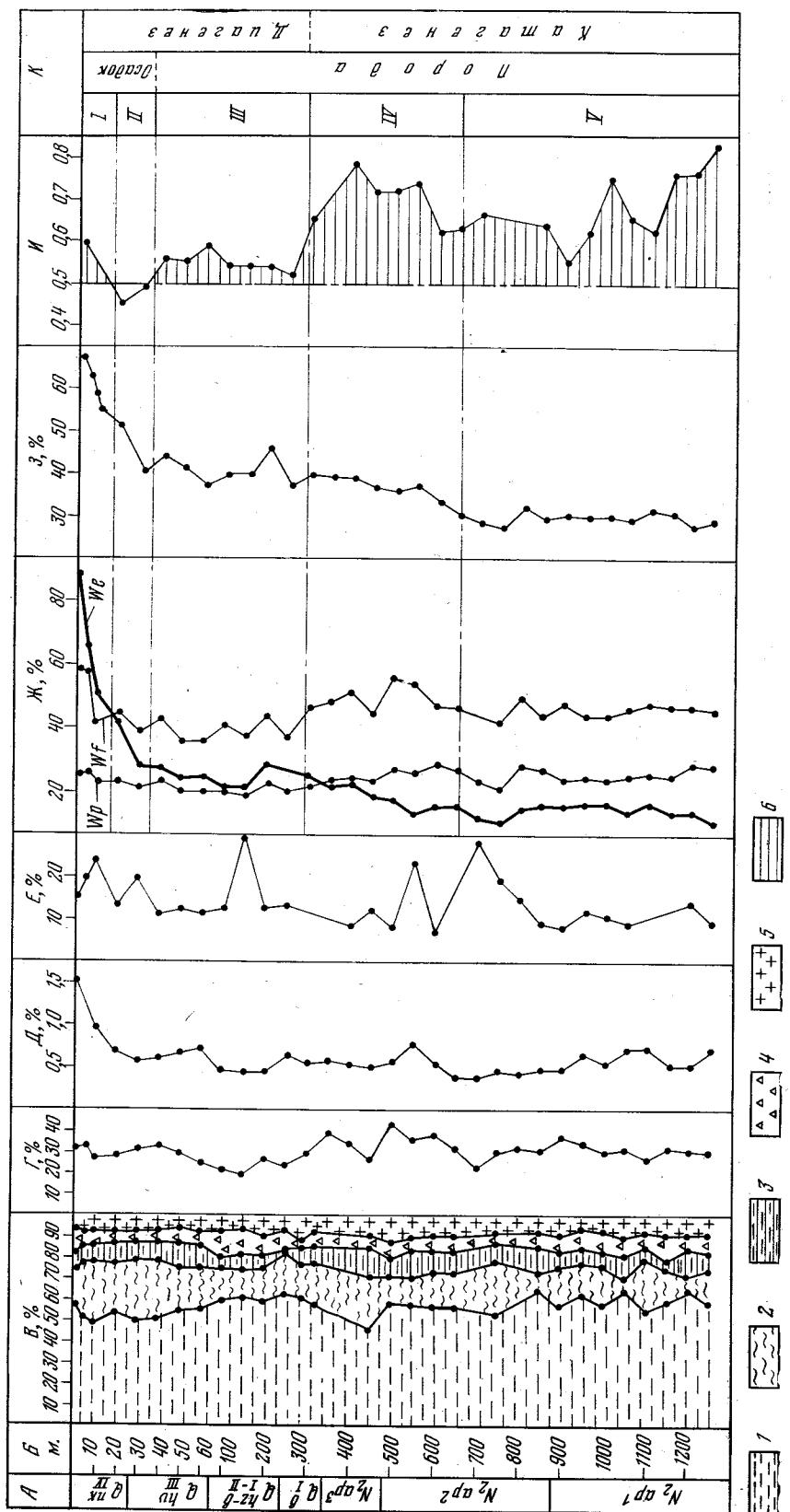
Среднеапшеронский подъярус (476—882 м) представлен плотными, глинистыми породами серого, буровато- и зеленовато-серого цвета с прослойками песка. Особенностью рассматриваемых отложений является наличие песчаника, известняка и вулканического пепла.

Отложения нижнеапшеронского подъяруса (882—1255 м) представлены глинами серыми, темно-серыми, плотными с редкими прослойками мелкозернистых песчаников. Часто встречаются линзовидные включения сульфидов железа.

Литологически отложения, вскрытые скважинами 15 и 16, представлены в основном глинистыми разностями пород. Содержание глинистых частиц ($<0,001$ мм) составляет, как правило, около 30%. Изменение содержания глинистой фракции с глубиной составляет 11—54%, что отражает условия осадконакопления в районе Бакинского архипелага в четвертичное и плиоценовое время. Заметное уменьшение дисперсности терригенного материала наблюдается в хазарско-бакинское время и в породах среднего апшерона (рис. 1, Г). Можно сказать, что в целом условия накопления рассматриваемого разреза отложений были близкими на протяжении всего периода формирования.

Преобладающим глинистым минералом в разрезе рассматриваемых пород, по данным В. Г. Шлыкова (Куприн, Шлыков и др., 1976), является диоктаэдрическая гидрослюдя 2М и 1М, количество которой составляет 45—60%, а иногда и 70% фракции $<0,001$ мм. На долю смешанослойных образований приходится 5—35% глинистой фракции. Количество монтмориллонита, каолинита и хлорита не превышает 10—15%. В интервалах разреза, отличающихся высоким содержанием фракции мельче 0,001 мм (30—45% и более), в составе глинистых минералов возрастает количество монтмориллонита и, главное, смешанослойных образований типа слюда — монтмориллонит (рис. 1, В). Термобарические условия, существующие на глубинах до 1255 м, не оказывают заметного влияния на минеральный состав глинистой части пород.

В зависимости от литологического состава рассматриваемых пород количество C_{org} изменяется от 1,10 до 0,12% (рис. 1, Д). Содержание карбоната кальция колеблется от 6 до 31% (рис. 1, Е). Изменение известковистости пород с глубиной показано на рис. 1, Е, из которого видно, что повышенным содержанием $CaCO_3$ характеризуются отложения среднеапшеронского возраста.



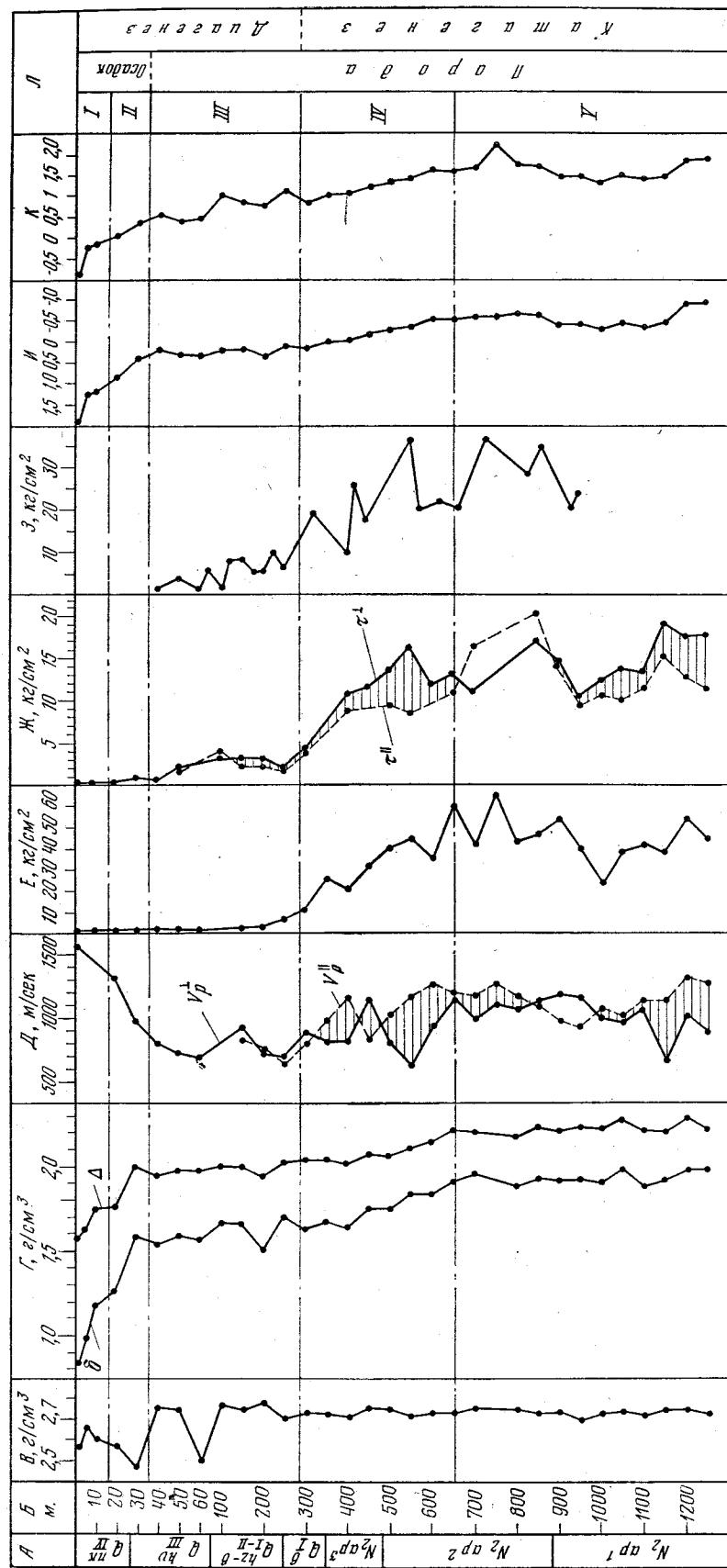
Так как во всем разрезе преобладают глинистые разности пород, уменьшение естественной влажности (W_e) от 26 до 11% в интервале 40—1255 м связано с уплотнением и дегидратацией отложений с глубиной под действием увеличивающегося геостатического давления. Влажность при верхнем пределе пластичности (W_f) наиболее чувствительна к изменению состава исследованных пород. Так, увеличение верхнего предела пластичности от 35—40 до 50% с глубины 250—300 м обусловлено повышенной дисперсностью бакинских и верхнеапшеронских отложений. Величины гигроскопической влажности, максимальной молекулярной влагоемкости и влажности при нижнем пределе пластичности (W_p) по всему разрезу меняются незначительно, соответственно колебляясь в интервалах 2,5—5,5%, 13—19% и 19—27%, что свидетельствует об относительной однородности пород изученного разреза.

Несмотря на замедленный характер дегидратации рассматриваемых отложений, в изменении естественной влажности с глубиной довольно отчетливо прослеживается скачок в интервале глубин 250—300 м (рис. 1, Ж). От 40 до 250—300 м естественная влажность уменьшается на 5% и постепенно приближается к нижнему пределу пластичности, ниже 250—300 м она довольно быстро (на глубине 450 м) становится меньше максимальной молекулярной влагоемкости. Сравнение кривой изменения естественной влажности с кривой изменения верхнего предела пластичности в какой-то степени позволяет исключить влияние литологического состава пород на характер их дегидратации в процессе литогенеза. На рис. 1, Ж отчетливо видно, что разница между верхним пределом пластичности и естественной влажностью в интервале от 250—300 до 1255 м примерно в 2 раза больше, чем в интервале глубин от 40 до 250—300 м.

С увеличением глубины залегания от 40 до 1255 м пористость пород снижается от 40—45 до 21%. Кривая изменения пористости рассматриваемых отложений по разрезу хорошо совпадает с кривой изменения естественной влажности (рис. 1, З). Расчет пористости по плотности и объемной массе и непосредственно по влажности пород показал, что от 40 до 1255 м пористость, рассчитанная по плотности и объемной массе, в основном больше пористости, вычисленной по величине естественной влажности. В отдельных случаях разница между этими значениями становится более 8%. Это явление, очевидно, связано с наличием в рассматриваемых породах пор, заполненных газом. Кроме того, отмечаемая разница может быть связана с разуплотнением керна при его извлечении из материнской породы, также не исключено влияние особенностей литификации и цементации пород.

Изменения микротекстуры глинистых отложений Бакинского архипелага с глубиной их залегания были выявлены с помощью рентгеновского метода и метода магнитной анизотропии. На примере четвертичных отложений, вскрытых скважинами 7 и 9, было установлено, что начиная с глубины 30—40 м, когда в результате уплотнения влажность осадков уменьшается до величины, на 5—10% превышающей нижний предел пластичности, глинистые частицы и микроблоки стремятся занять оптимальное для своей формы положение, ориентируясь в плоскости напла-

Рис. 1. Состав и структурно-текстурные особенности глинистых отложений Бакинского архипелага; А — стратиграфический индекс; Б — глубина от поверхности дна в метрах; В — минеральный состав глинистой фракции (<0,001 мм); Г — содержание глинистой фракции (<0,001 мм); Д — содержание органического углерода ($C_{орг}$); Е — содержание CaCO_3 ; Ж — естественная влажность (W_e), верхний предел пластичности (W_f), нижний предел пластичности (W_p); З — пористость, И — степень ориентации (C_p); К — зоны и стадии литогенеза. 1 — гидрослюд; 2 — смешанослойные минералы; 3 — монтмориллонит; 4 — каолинит; 5 — хлорит; 6 — отложения, характеризующиеся ориентацией глинистых частиц в плоскости напластования



ствования. Степень ориентации (C_p) становится, как правило, больше 0,5, т. е. начинает формироваться ориентированная текстура.

Изучение более древних отложений Бакинского архипелага, вскрытых скважинами 15 и 16, позволило проследить дальнейшее изменение микротекстуры глинистых пород с увеличением глубины их залегания. Оказалось, что до глубин 250—300 м степень ориентации глинистых частиц увеличивается крайне медленно, достигая величины 0,65, что соответствует слабоориентированной в плоскости напластования текстуре. Ниже 250—300 м, когда в результате уплотнения естественная влажность пород становится меньше нижнего предела пластичности, степень ориентации возрастает до 0,8—0,9 (рис. 1, И). Такие значения степени ориентации уже соответствуют высокоориентированной текстуре. Как видно из рис. 1, Г, И, степень ориентации, рассчитанная по данным рентгеновского метода, тесно связана с дисперсностью глинистых пород. С увеличением содержания глинистых частиц степень их ориентации также увеличивается. Некоторое снижение степени ориентации в среднеапшеронских отложениях, на наш взгляд, связано с уменьшением содержания глинистой фракции и увеличением числа частиц крупнее 0,01 мм, которые вызывают ухудшение ориентации глинистых частиц. Кроме того, уменьшение степени ориентации может быть связано с наличием в этих отложениях прослоев, обогащенных вулканическим пеплом и известковистым материалом. Однако резкое увеличение степени ориентации с глубины 250—300 м в верхнеапшеронских отложениях связано не столько с увеличением дисперсности пород, сколько с их уплотнением. В этом убеждает тот факт, что, несмотря на высокое содержание фракции <0,001 мм в хвалынских и хазарско-бакинских отложениях, залегающих на глубине 45—120 м, степень ориентации глинистых частиц в них значительно меньше, чем в породах верхнеапшеронского возраста, залегающих на глубине более 300 м.

Показатели текстуры, полученные для некоторых образцов методом магнитной анизотропии, подтверждают данные рентгеновского метода об изменении ориентации глинистых частиц и микроблоков в процессе дегидратации и уплотнения пород:

Глубина отбора образцов, м	48—50	150—154	220—225	280	420	688	1026	1234
Коэффициент магнитной ани- зотропии (A)	1,08	1,01	1,07	1,13	1,19	1,11	1,34	1,42
Угол ϕ , град	23	38	9	3	21	12	22	9

Таким образом, изучение состава и структурно-текстурных особенностей отложений Бакинского архипелага показало, что они накапливались примерно в одинаковых условиях. Отмеченные в разрезе колебания дисперсности, минерального состава глинистой фракции, содержания органического вещества и карбонатов свидетельствуют лишь о незначительных фациальных изменениях, имевших место в акватории Бакинско-

Рис. 2. Физико-механические свойства глинистых отложений Бакинского архипелага. А — стратиграфический индекс; Б — глубина от поверхности дна в метрах; В — плотность; Г — объемная масса ненарушенных отложений при естественной влажности (Δ), объемная масса скелета (δ); Д — скорость звука, измеренная перпендикулярно напластованию (V_p^{\perp}) и параллельно напластованию (V_p^{\parallel}), Г — участки разреза, в которых анизотропия акустических свойств пород обусловлена ориентацией глинистых частиц в плоскости напластования; Е — прочность по конусу, Ж — прочность на сдвиг, измеренная перпендикулярно напластованию (τ^{\perp}) и параллельно напластованию (τ^{\parallel}), штриховка — участки разреза, в которых анизотропия прочности пород на сдвиг обусловлена ориентацией глинистых частиц в плоскости напластования; З — прочность на раздавливание; И — показатель консистенции; К — показатель уплотненности; Л — зоны и стадии литогенеза

го архипелага в плиоцен-четвертичное время. Направленных постседиментационных преобразований дисперсности, минералогического состава глинистых минералов, $C_{\text{орг}}$ и CaCO_3 , не наблюдается. Очевидно, для установления этих преобразований необходимы специальные, более чувствительные методы исследования. Так, например, применение современных методов исследования микротекстуры, разработанных на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ, позволило обнаружить значительное усиление ориентации глинистых частиц с глубины 250—300 м. Чувствительными индикаторами постседиментационных преобразований глинистых отложений являются также пористость и естественная влажность, довольно значительные уменьшения которых наблюдаются с глубины 250—300 м от поверхности дна.

Физико-механические свойства изученных отложений. Плотность пород рассматриваемого разреза варьирует в основном от 2,70 до 2,75 $\text{г}/\text{см}^3$, что соответствует преобладанию в нем глинистых разностей пород. Уменьшение плотности до 2,65 $\text{г}/\text{см}^3$ характерно для различных по возрасту отложений, обогащенных песчаным материалом. Увеличение плотности пород до 2,80 $\text{г}/\text{см}^3$ связано с наличием в их составе сульфидов железа и других тяжелых минералов (рис. 2, В).

Увеличение объемной массы исследованных отложений с увеличением глубины их залегания связано с процессами уплотнения и дегидратации, в результате которых уменьшаются влажность и пористость пород и формируется более компактная, оптимальная для глинистых грунтов текстура. Именно поэтому характер изменения по разрезу объемной массы пород хорошо согласуется с характером изменения их влажности, пористости и текстуры. От 40 до 250—300 м объемная масса пород практически не изменяется, она равна примерно 2,0 $\text{г}/\text{см}^3$. Ниже 250—300 м наблюдается относительно резкое увеличение объемной массы до 2,25—2,35 $\text{г}/\text{см}^3$. Объемная масса скелета грунта с увеличением глубины изменяется от 1,5 до 2,0—2,1 $\text{г}/\text{см}^3$ и стремится к объемной массе породы при естественной влажности (рис. 2, Г).

Величина скорости продольных волн в отложениях, залегающих в интервале от 40 до 250—300 м, уменьшается от 1000 до 700 $\text{м}/\text{сек}$. Незначительное увеличение скорости распространения ультразвуковых волн наблюдается в отложениях, вскрытых скважиной 16 ниже 300 м. Однако даже на глубинах более 1000 м величина ее в основном не превышает 1200—1300 $\text{м}/\text{сек}$ и лишь в отдельных горизонтах достигает значения 1500 $\text{м}/\text{сек}$.

Известно, что скорость звука в воздухе при температуре 0°С равна 332 $\text{м}/\text{сек}$. В морской воде скорость звука больше, чем в газах, и равна примерно 1500 $\text{м}/\text{сек}$, а в твердых телах больше, чем в жидкостях. Скорость распространения продольных волн в глинистых грунтах изменяется от 700 до 1500 $\text{м}/\text{сек}$, что согласуется с нашими данными. Она зависит от многих факторов: минерального состава скелета грунта, его объемной массы, влажности, структуры и текстуры. Довольно низкие значения скоростей продольных волн в рассматриваемых отложениях связаны, на наш взгляд, с тем, что они находятся в таком состоянии (естественная влажность близка к нижнему пределу пластичности, а коэффициент пористости меньше 1—0,8), когда продольные волны уже не имеют возможности распространяться только через жидкую фазу пород, а распространение продольных волн преимущественно через твердую фазу пород, по-видимому, затруднено отсутствием достаточно прочных контактов между частицами. Упругие волны распространяются, по-видимому, как в минеральных частицах, в порах, заполненных водой или газом, так и в зонах межчастичных контактов. В результате скорость звука в изученных отложениях значительно ниже не только величины скорости звука в твердых телах, но и в морской воде. Некоторая тенденция к увеличению с глубиной скорости распространения продольных волн, наблюдавшаяся в

породах, залегающих ниже 300 м, очевидно, связана с формированием в них более тесных контактов между частицами, что обусловлено и более совершенной текстурой, повышенной плотностью пород и цементацией контактов.

Анизотропия акустических свойств рассматриваемых отложений начинает проявляться с глубины 300 м. Она связана с повышением степени ориентации в плоскости напластования. Скорость распространения продольных волн перпендикулярно напластованию становится заметно меньше скорости продольных волн, измеренных параллельно напластованию (рис. 2, Д). В отдельных горизонтах эта закономерность нарушается, что связано с особенностями их литологического состава.

Прочность изученных пород, определенная с помощью конического пластометра, в два раза превышает прочность, измеренную методом двухплоскостного среза. Прочность пород, залегающих от 40 до 250—300 м, измеренная коническим пластометром, изменяется от 1,50 до 10 $\text{кг}/\text{см}^2$. Сдвиговая прочность колеблется от 1 до 5—6 $\text{кг}/\text{см}^2$. Сопротивление пород одноосному сжатию составляет 2—10 $\text{кг}/\text{см}^2$. Рассматриваемые породы характеризуются пластичным и хрупкопластичным разрушением. Модуль упругости изменяется от 30 до 150 $\text{кг}/\text{см}^2$. Отношение максимального напряжения сдвига к минимальному, установившемуся напряжению сдвига равно 1,2—3,2. Анизотропия прочности пород начинает проявляться с глубины 100 м, но она весьма незначительна из-за слабой текстурированности.

Резкое увеличение прочности изученных отложений начинается с глубины 300 м (рис. 2, Е, Ж, З). В интервале от 300 до 1255 м прочность пород, определенная коническим пластометром, достигает 90 $\text{кг}/\text{см}^2$ (рис. 2, Е). Сдвиговая прочность, измеренная методом двухплоскостного среза, изменяется от 10 до 20 $\text{кг}/\text{см}^2$ (рис. 2, Ж). Отношение τ_{\max}/τ_{\min} , как правило, больше 2—3 и в некоторых точках достигает 10. Сопротивление пород одноосному сжатию равно 15—40 $\text{кг}/\text{см}^2$ (рис. 2, З). Разрушение образцов, отобранных с глубин 300—1255 м, имеет хрупкий характер. Модуль упругости изменяется от 300 до 1150 $\text{кг}/\text{см}^2$.

Особенностью пород, залегающих ниже 300 м, является их анизотропия прочностных свойств, которая обусловлена высокой степенью ориентации глинистых частиц, достигающей максимальной величины 0,9. Прочность, измеренная перпендикулярно напластованию, больше прочности, измеренной параллельно напластованию. Однако следует отметить, что в среднеапшеронских отложениях эта закономерность нарушается (рис. 2, Ж). Это может быть связано не только с понижением в этих породах степени ориентации глинистых частиц, но также и с повышенным содержанием карбоната кальция, цементирующего относительно грубодисперсные породы среднеапшеронского подъяруса. Полученные данные свидетельствуют о том, что для оценки анизотропии прочности пород твердой консистенции конический пластометр менее применим, так как этот метод фиксирует прочность не всего образца, а лишь его локальных участков. Значения прочности, измеренные методом двухплоскостного среза, хорошо согласуются с текстурой пород, что свидетельствует о большей применимости этого метода для оценки анизотропии механических свойств глинистых пород.

Таким образом, рассмотренные показатели физико-механических свойств свидетельствуют о направленных постседиментационных изменениях глинистых отложений Бакинского архипелага в исследованном интервале глубин от 40 до 1255 м. Наиболее чуткими показателями изменений, происходящих в глинистых отложениях в процессе литогенеза, являются показатели прочности пород. Тремя методами установлено резкое увеличение прочности пород с глубины 250—300 м (рис. 2, Е, Ж, З), затухающее с глубины 600—700 м. Отмеченное увеличение прочности пород хорошо согласуется с их структурно-текстурными изменениями

(рис. 1, З, И; рис. 2, Г). Кроме того, формирование более высокоориентированной текстуры обусловило проявление анизотропии свойств (рис. 2, Д, Ж) с глубины 250—300 м.

Заключение

Анализируя полученные данные, попытаемся установить границу перехода глинистых отложений Бакинского архипелага из стадии диагенеза в стадию катагенеза.

Предварительно остановимся на результатах более ранних исследований, которыми были охвачены самые молодые четвертичные отложения Бакинского архипелага. От поверхности дна до глубины 120 м по показателям состава, микротекстуры и физико-механических свойств было выделено три зоны литификации.

Осадки первой зоны, залегающие до глубины 15—20 м, характеризуются величиной естественной влажности, превышающей верхний предел пластичности, беспорядочной или слабоориентированной в плоскости напластования микротекстур и минимальной прочностью — 0,01—0,5 кг/см². В этой зоне наиболее интенсивно протекают процессы дегидратации и уплотнения осадков.

В пределах второй зоны литификации от 15—20 до 30—40 м интенсивность дегидратации и уплотнения с глубиной залегания постепенно затухает. Естественная влажность отложений становится меньше верхнего предела пластичности и приближается к нижнему пределу, а прочность увеличивается до 1—1,5 кг/см². Особенностью этой зоны является нарушение первоначальной микротекстуры осадков, которая становится менее ориентированной, а плоскость преимущественной ориентации глинистых частиц не совпадает с плоскостью напластования. Было высказано предположение, что такое изменение микротекстуры осадков может быть связано с появлением избыточного порового давления, возникающего на этих глубинах в результате общего хода уплотнения и дегидратации, протекающих на фоне активных геохимических процессов, характерных для ранних этапов диагенеза.

К третьей зоне литификации были отнесены породы, залегающие ниже 30—40 м. Они находятся еще в пластичном состоянии, но естественная влажность их близка величине нижнего предела пластичности, превышая его всего на 5—10%. В результате все возрастающего геостатического давления, достигающего величин, соизмеримых с величиной оптимальной нагрузки уплотнения (10—15 кг/см²) (Сергеев, 1949), с глубиной изменяется микротекстура пород, которая становится более ориентированной. Глинистые частицы и микроблоки стремятся занять оптимальное для своей формы положение, ориентируясь в плоскости напластования. Структурно-текстурные изменения вызывают увеличение прочности пород, которая достигает нескольких килограммов на квадратный сантиметр. Тот факт, что микротекстура и показатели физико-механических свойств пород остаются примерно постоянными вплоть до глубины 120 м, позволил нам сделать вывод, что в третьей зоне литификации происходит формирование пород, устойчивых к термодинамическим условиям диагенеза, т. е. к условиям, господствовавшим на участке, где шло формирование осадка. Прирост температуры от 1—2 до 8—10°С как максимум и давлений от 2 до 20—30 атм, по выражению акад. Н. М. Страхова (1971), дела не меняет. Было высказано предположение, что дальнейшее изменение физико-механических свойств и микротекстуры пород следует ожидать при более высоких давлениях и температуре, имеющих место на стадии катагенеза, а нижнюю границу третьей зоны литификации рассматривать как границу между диагенезом и катагенезом.

Результаты, изложенные в данной статье, подтверждают высказанное нами ранее предположение. Исследование более древних отложений

Бакинского архипелага позволило установить резкое изменение микротекстуры и физико-механических свойств пород начиная с глубины 250—300 м. Естественная влажность отложений на этой глубине становится равной нижнему пределу пластичности, а на глубине 600—700 м — на 10% ниже этого предела, т. е. породы становятся непластичными. Степень ориентации глинистых минералов увеличивается от 0,55—0,60 до 0,75—0,80. Прочность пород достигает нескольких десятков килограммов на квадратный сантиметр. Разрушение образцов имеет хрупкий характер. Формирование более высокоориентированной текстуры вызывает анизотропию физико-механических свойств. Естественно предположить, что столь значительные изменения микротекстуры и физико-механических свойств могли произойти при более высоких давлениях и температуре, которые начинают испытывать породы с глубины 250—300 м. Природное давление в интервале 40—300 м, рассчитанное с учетом взвешивающего влияния воды, изменяется от 3—4 до 30 кг/см², а вычисленное без учета взвешивающего влияния воды увеличивается до 53 кг/см². Природное давление в интервале глубин 300—1255 м увеличивается от 50 до 250 кг/см². Температура в толще пород от 90 до 1200 м изменяется от 3 до 33°С.

Таким образом, формирование микротекстуры и физико-механических свойств глинистых пород с глубины 250—300 м протекает уже в иных термодинамических условиях, отличных от тех, в которых протекают процессы диагенеза. Следовательно, для глинистых отложений Бакинского архипелага границу 250—300 м можно рассматривать как границу перехода пород из стадии диагенеза в стадию катагенеза.

По интенсивности катагенетических преобразований в толще пород, залегающих от 250—300 до 1255 м, прослеживаются две зоны литификации: соответственно от 250—300 до 600—700 м и от 600—700 до 1255 м (рис. 1, К; 2, Л).

Итак, по показателям состава, микротекстуры и физико-механических свойств в сводном разрезе глинистых отложений Бакинского архипелага нами выделено пять зон литификации (рис. 1, К; 2, Л).

Неустойчивость микротекстуры и физико-механических свойств отложений первой и второй зон литификации к термодинамическим условиям диагенеза позволяет рассматривать их с инженерно-геологической точки зрения как осадок. В третьей зоне формируются отложения, микротекстура и физико-механические свойства которых уже устойчивы к термодинамическим условиям диагенеза. С инженерно-геологической точки зрения их следует относить уже к породам. Осадки характеризуются текучей, текучепластичной и мягкопластичной консистенцией, неориентированной микротекстурой и прочностью, не превышающей 0,5 кг/см². Породы — это образования тугопластичной и полутвердой консистенции со сформировавшейся, еще слабоориентированной, но уже устойчивой микротекстурой; прочность их составляет несколько килограммов на квадратный сантиметр. Первые три зоны литификации (I, II, III) охватывают стадию диагенеза, на которой происходит превращение осадка в осадочную породу.

В четвертой зоне литификации происходят изменения микротекстуры и физико-механических свойств самой породы при переходе ее из стадии диагенеза к стадии катагенеза. Естественная влажность пород становится меньше нижнего предела пластичности, они переходят в твердое состояние ($B < 0$), приобретают отчетливую ориентированную текстуру ($C_p > 0,6$), способствующую увеличению прочности пород до нескольких десятков килограммов и проявлению анизотропии физико-механических свойств. Породы пятой зоны литификации уже устойчивы к новым термодинамическим условиям раннего катагенеза. Четвертая и пятая зоны литификации (IV, V) соответствуют стадии катагенеза, на которой про-

исходят преобразования инженерно-геологических особенностей осадочной породы.

Анализ полученных результатов позволил нам также установить основные количественные критерии выявления этапов и стадий формирования физико-механических свойств субаквальных глинистых отложений Бакинского архипелага в процессе литогенеза. Ими являются: 1) естественная влажность в сравнении с пределами пластичности (показатель консистенции); 2) степень ориентации глинистых минералов, которая может быть количественно оценена рентгеновским методом; 3) прочность пород и прежде всего прочность на сдвиг; 4) анизотропия физико-механических свойств.

Результаты, аналогичные изложенным в данной статье, были получены при изучении глинистых отложений Черного моря по материалам глубоководного бурения, выполненного в 1975 г. с американского научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер» (Kuprin et al., 1978). Сопоставление этих результатов требует специального рассмотрения.

Московский государственный университет
Геологический факультет

Поступила в редакцию
9.XI.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Котлов В. Ф., Соколов Б. А. Сравнительная оценка магнитного и рентгеновского методов изучения микротекстуры глинистых пород.— Вестник МГУ. Сер. геол., 1975, № 5.
Куприн П. Н., Шлыков В. Г., Потапова Л. И., Меламедова В. С. О связи группового состава органического вещества и глинистых минералов в донных отложениях Каспийского моря.— В сб.: Органическое вещество современных и ископаемых осадков, вып. 4. М., «Наука», 1976.
Мельников П. Ф. Исследования по разработке метода подготовки засоленных и карбонатных грунтов к гранулометрическому анализу.— Уч. зап. Моск. ун-та, 1956, вып. 177.
Мельников П. Ф. Прибор для определения карбонатов (кальциметр).— В сб.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, вып. 2. Изд-во МГУ, 1968.
Поляков А. С. Формирование физико-механических свойств и изменение микротекстуры морских глинистых отложений в процессе литогенеза.— Вестник МГУ. Сер. геол., 1975, № 4.
Поляков А. С., Гасанова Д. М., Осипов В. И., Куприн П. Н., Осипов Ю. Б., Стешенко В. И., Соколов Б. А. О формировании инженерно-геологических свойств субаквальных глинистых отложений Бакинского архипелага в процессе литогенеза.— В сб.: Комплексные исследования Каспийского моря, вып. 5. Изд-во МГУ, 1976.
Сергеев Е. М. Понятие об оптимальной нагрузке уплотнения грунтов.— Вестник МГУ. Сер. физ.-мат. и естеств. наук, 1949, № 10, вып. 7.
Сергеев Е. М., Голодковская Г. А., Зиангиров Р. С., Осипов В. И., Трофимов В. Т. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1971.
Страхов Н. М. Развитие литологических идей в России и СССР. М., «Наука», 1971.
Тюрин И. В. Органическое вещество почв. М., Сельхозгиз, 1937.
Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., «Недра», 1975.
Щукин Е. Д., Бессонов А. И., Паранский С. А. Механические испытания катализаторов и сорбентов. М., «Наука», 1971.
Kuprin P. N., Slicherbakov F. A., Poliakov A. S., Shlykov V. G., Nesterova M. P., Shevchenko A. J., Turanskaja N. V., Kazakova V. P. Physical and mechanical properties of the Black Sea's pliocene — quaternary sediments (sites 380 and 381).— Initial Rep. Deep-Sea Drilling Project, 1978, v. XLII, P. 2.
Weaver Ch. E. The significance of clay minerals in sediments.— In: Fundamental aspects of petroleum geochemistry. Ed. Nagy B. and Colombo U. 1967.

МЕТС М.

О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

В последние годы появилось много работ, в которых дается анализ деформаций слабых грунтов и предлагаются инженерные методы определения конечных осадок и развития осадок во времени. При этом, как правило, не обращается внимания на несущую способность слабых глинистых грунтов и на характер зависимости между напряжениями, развивающимися в них, и деформациями, что не позволяет правильно характеризовать физические процессы, происходящие в основании с ростом нагрузки. Это связано с отсутствием единых критериев при изучении несущей способности слабого грунта и попытками характеризовать ее определенной нагрузкой, которая устанавливается по определенной методике.

Более правильно характеризовать зависимость между напряжениями и деформациями $S=f(q)$ характерными нагрузками, при которых происходит изменение физических процессов в грунтах основания. Это можно делать в ходе анализа результатов полевых опытов со штампами на слабых глинистых грунтах, используя зависимость $S=f(t)$ по методике автора (Mets, 1976) или В. Яанисо (Jaaniso, 1977). При этом следует выделять пять характерных нагрузок (см. рис. 1).

Первая характерная нагрузка q_1 отвечает структурной прочности слабого глинистого грунта, при которой деформация фактически отсутствует и грунт ведет себя как твердое тело. До второй характерной нагрузки q_2 грунт деформируется как упругое тело, образуя воронку оседания вокруг штампа. При нагрузках выше q_2 штамп врезается в грунт и осадки штампа в дальнейшем связаны (до характерной нагрузки q_3) с уплотнением грунта под штампом.

В интервале нагрузок q_2 — q_3 поверхность вокруг штампа фактически не оседает, зависимость $S=f(q)$ имеет прямолинейный характер и грунт деформируется как линейно-деформируемое тело.

При нагрузках выше q_3 начинается выдавливание грунта из-под штампа, но зависимость $S=f(t)$ имеет при этом затухающий характер и показатель степени b в зависимости $S=at^b$ изменяется от 0,2 до 0,6. Затухающий характер зависимости $S=f(t)$ наблюдается до характерной нагрузки q_4 . При нагрузках, превышающих ее, в начале каждой ступени нагрузки наблюдается участок незатухающей ползучести $b=1$, продолжительность которой в зависимости от режима нагружения может быть от 1 до 4 час. Затем величина b становится равной 0,6—0,7 и наступает затухающий процесс. Нагрузка q_5 представляет собой предельную нагрузку, при превышении которой происходит разрушение грунтов основания.

Для выявления названных характерных нагрузок была проведена серия полевых опытных испытаний ленточных глин г. Пирну. Ленточные глины здесь имеют слоистую структуру, в минеральном составе их преобладает гидрослюдя, в поровой воде содержится большое количество катионов Na. Физические свойства ленточных глин следующие: влажность 75—90%, число пластичности 23—29%, предел текучести 55—70%,

Таблица 1

Результаты испытания на сдвиг

Время испытаний	W		$\tau_1, \text{кг}/\text{см}^2$	$\tau_3, \text{кг}/\text{см}^2$	τ_5		Количество испытаний
	до опыта	после опыта			φ^0	$C_s, \text{кг}/\text{см}^2$	
Сразу после отбора	75...90% средняя 81	ср. 80	0,02	0,10	14	0,08	24
Через месяц после отбора	75...90% средняя 86	ср. 85	0,10	0,18	12	0,16	37

коэффициент пористости 1,9—2,4, содержание глинистой фракции 45—75%. Обработка результатов 28 опытов, которые проведены со штампами площадью от 900 до 15 000 см^2 при различных режимах нагружения, показала, что величины q_1 , q_2 , q_3 и q_4 не зависят от режима нагружения, а также от площади и глубины заложения штампа. Их средние и предельные значения ($\text{кг}/\text{см}^2$) приведены ниже.

	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
Средние значения	0,12	0,31	0,63	1,22	—
Предельные значения	0,10...0,13	0,28...0,33	0,55...0,70	1,1...1,3	1,25...1,65

Только величина q_5 зависит от названных факторов и изменяется в довольно широких пределах. С ростом глубины заложения и площади штампа величина q_5 возрастает. Влияние режима нагружения более сложно и требует дальнейшего изучения. Но уже сейчас можно сказать, что с ростом ступени нагружения величина q_5 снижается.

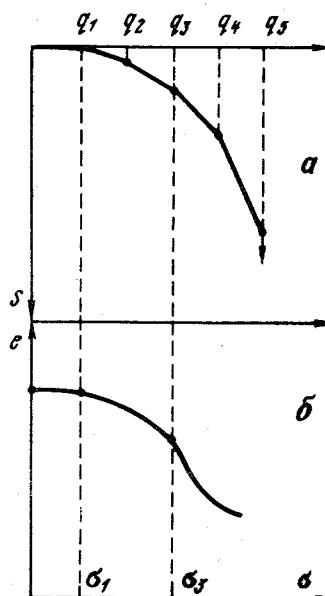


Рис. 1

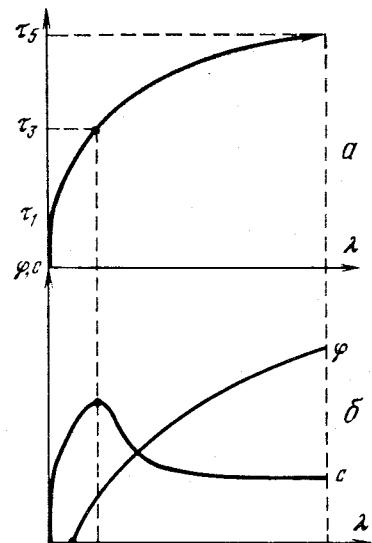


Рис. 2

Рис. 1. a — зависимость между нагрузкой (q) и осадкой (S); б — зависимость между нагрузкой (σ) и коэффициентом пористости (e).

Рис. 2. a — зависимость между сдвиговыми напряжениями (τ) и деформациями (λ); б — зависимость сдвиговых параметров φ и C от сдвиговых деформаций λ .

Характерные нагрузки q_1 и q_3 можно выделить также по результатам компрессионных опытов (Смирнова и др., 1972). В нашем случае величина q_1 изменяется от 0,10 до 0,15, а q_3 — от 0,55 до 0,75 $\text{кг}/\text{см}^2$. Средние величины q_1 и q_3 , полученные в лабораторных и полевых опытах, практически совпадают.

Подобные характерные нагрузки можно выделить при анализе зависимости между сдвиговыми деформациями и напряжениями $\lambda=f(\tau)$ (см. рис. 2, a), где τ_1 характеризует структурную прочность при сдвиге, τ_3 — предел пропорциональности (порог ползучести) при сдвиге, а τ_5 — предельное сопротивление сдвига. Зависимость между сдвиговыми деформациями и параметрами сопротивления сдвига φ и C приведена в соответ-

ствии с работой И. Шертманна и И. Остерберга (Schermann, Osterberg, 1960) на рис. 2, б. При нагрузке τ_1 в работу включена только часть сцепления и грунт ведет себя как твердое тело. В интервале τ_1 — τ_3 зависимость $\lambda=f(\tau)$ прямолинейна, грунт ведет себя как линейно-деформируемое тело. У слабых глин и суглинков при τ_3 в работу полностью включено сцепление, а у слабых супесей — и некоторая доля трения. Величина τ_3 этой нагрузки равна сопротивлению сдвига по неконсолидированно-недренированной схеме — (C_s). При нагрузках выше τ_3 включается в работу трение, которое достигает своего максимума при τ_5 .

Известно, что результаты испытаний на сдвиг зависят от методики их проведения, применяемых приборов, а также от способа подготовки образцов к испытанию. Ниже рассматриваются результаты опытов, проведенных по методике А. Вило (Ajutised juhised..., 1971).

Сравнение результатов, полученных на приборах ЛГИ и ВСВ-25, показало, что при τ_1 и τ_3 они практически совпадают. При τ_5 подобное совпадение характерно только для глин. Для супесей и суглинков приборы ЛГИ дают явно завышенные величины φ , что приводит к завышению сопротивления сдвигу грунтов (Kääg et al., 1976).

Результаты испытания на сдвиг монолитов сразу после отбора и через месяц после отбора приведены в табл. 1. Как видно из таблицы, величины τ сразу после отбора меньше, чем при испытаниях через месяц, хотя влажность монолитов практически не изменилась. Особенно большой рост характеризует τ_1 , что объясняется изменением характера сцепления. Подобный результат был получен при испытаниях на сдвиг образцов, которые вырезаны из больших монолитов 20×40×40 см и из металлических гильз диаметром 127 и высотой 70 мм. Величины τ для первых были примерно на 5—10% меньше, чем для вторых. Причины этих расхождений пока не ясны.

На рис. 3 приведены зависимости τ_1 , τ_3 , τ_5 и $\tau_{\text{мгн}}$ от вертикальной нагрузки σ , которые получены на приборах ЛГИ при испытаниях образцов ленточных глин сразу после отбора. Величина τ_1 равна 0,02 $\text{кг}/\text{см}^2$ и не зависит от σ . При нагрузках выше 0,7 $\text{кг}/\text{см}^2$ $\tau_1=0$. Величина τ_3 при σ от 0 до 0,35 $\text{кг}/\text{см}^2$ равна 0,1 $\text{кг}/\text{см}^2$. При дальнейшем увеличении σ до 0,7 $\text{кг}/\text{см}^2$ наблюдается некоторое уменьшение величины τ_3 , которая затем снижается до 0. Величина τ_5 в интервале σ от 0 до 0,7 $\text{кг}/\text{см}^2$ подчиняется закону Кулона и сдвиговые параметры характеризуются следующими значениями: $\varphi=14^\circ$, $C=0,09 \text{ кг}/\text{см}^2$. При нагрузках σ выше 0,7 $\text{кг}/\text{см}^2$ для τ_5 сдвиговые параметры равны $\varphi=24^\circ$ и $C=0,05 \text{ кг}/\text{см}^2$. На рис. 3 приведена также величина мгновенного сопротивления сдвигу $\tau_{\text{мгн}}=0,3 \text{ кг}/\text{см}^2$.

Прочность слабых глинистых грунтов была изучена методом одноосного сжатия на образцах высотой 58 и диаметром 38 мм. В этих опытах предел пропорциональности был достигнут на нагрузке 0,3—0,32 $\text{кг}/\text{см}^2$ и общих деформациях 1—1,2 мм.

Разрушение образцов в опытах на одноосное сжатие зависит от режима нагружения. При величине ступени 0,02—0,4 $\text{кг}/\text{см}^2$ оно наступило

Таблица 2

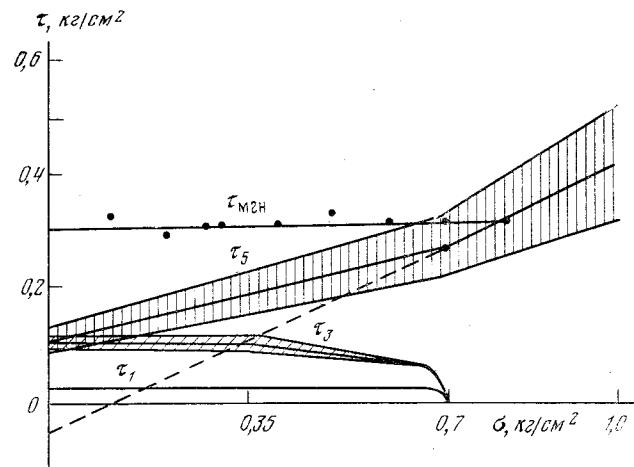
Результаты испытания глинистых грунтов штампом

Типы фундамента	q_1	q_2	q_3	q_5
Фундамент мелкого заложения	$6 \times \tau_1$	$3 \times \tau_3$	$6 \times \tau_3$	По формуле Терцаги или $5 \times \tau_{\text{МГН}}$
Свайный фундамент	$10 \times \tau_1$	—	$10 \times \tau_3$	По формуле Мейергофа или $30 \times \tau_{\text{МГН}}$

Таблица 3

Значение модулей деформации при штамповом испытании

Интервал нагрузок	$E_{\text{оп}}$, кг/см ²	E_I , кг/см ²	E_{II} , кг/см ²	E_K , кг/см ²	K , см/год
q_1-q_2	60—100	35—45	30—40	—	70—300
q_2-q_3	45	20—15	15—12	15—20	20—50
q_3-q_4	25	7—10	3—7	4—8	15—5
q_4-q_5	12	3—5	1—2	—	1—3

Рис. 3. Зависимость $\tau_1=f(\sigma)$; $\tau_3=f(\sigma)$; $\tau_5=f(\sigma)$ и $\tau_{\text{МГН}}=f(\sigma)$. Приведены минимальные, средние и максимальные величины

еще раз указывает на то, что если в слабых грунтах в начальный момент не происходит разрушения, то ожидать его потом, даже при больших деформациях, нельзя. Циклическое нагружение слабых глинистых грунтов выявило, что характер зависимости $h=f(\sigma)$ от 1-го до 20-го цикла не изменяется и величина предела пропорциональности остается для всех циклов равной $0,3 \text{ кг}/\text{см}^2$. Отсюда вытекает, что слабый глинистый грунт обладает «памятью прочности», которую невозможно изменить повторными нагрузлениями.

Формулы для определения характерных нагрузок при помощи параметров сдвига приведены в работе Л. Юргенсона (Jürgenson, 1934), где $q_2=\pi C_u$ и $q_3=5,4 C_u$. Принимая величину $C_u=\tau_3=0,1 \text{ кг}/\text{см}^2$, увидим относительно хорошую сходимость между величинами, вычисленными по формулам, и приведенными выше средними величинами. При q_2 под штампом образуется зона (Jürgenson, 1934), где максимальные сдвиговые напряжения τ_{max} равны τ_3 . При дальнейшем росте нагрузки в этой зоне появляются процессы ползучести. Подобные процессы ползучести появляются в грунте и при испытаниях на одноосное сжатие при нагрузках больше предела пропорциональности, что объясняет хорошую сходимость между величиной последнего и q_2 .

При q_3 в вышеназванной зоне $\tau_{\text{max}}=\tau_5$, а на краях призма выпора $\tau=\tau_5$, начинается выдавливание грунта из-под штампа. Под штампом это выдавливание не ведет к разрушению основания, так как с ростом деформаций на краях призма выпора включается в работу внутреннее трение грунта. Разрушение основания наступает тогда, когда на краях призма выпора $\tau \geq \tau_5$. На правильность последнего вывода указывает сходимость между величиной q_5 и величинами предельного равновесия, рассчитан-

ными по формуле Терцаги (использованы сдвиговые параметры, определенные при τ_5). В Таллине и в Пярну имеется около 15 сооружений, под которыми нагрузка на поверхности слабых глинистых грунтов больше q_3 . Их осадки больше, чем при нагрузках q_3 , но имеют затухающий характер. Это доказывает, что при статических нагрузках выше 5—6 С разрушения слабых глинистых грунтов не происходит. Этот факт требует дополнительного изучения при помощи непосредственного измерения порового давления, но в данный момент можно предполагать, что поровое давление в слабых глинах не полностью развивается или быстро расходится благодаря их ленточной структуре.

Для максимального развития порового давления необходимо разрушить структуру грунта, как это было в испытаниях свай — зондов в ленточных глинах (Mets, 1977). Здесь сразу же после забивки свай диаметром 89 мм $\sigma_3=\sigma_5=1 \text{ кг}/\text{см}^2$. В ходе отдыха свай σ_3 осталась постоянной, но σ_5 увеличилась — через 4 часа до $2,2 \text{ кг}/\text{см}^2$, через две недели — до $4,6$ и через семь месяцев — до $9,6 \text{ кг}/\text{см}^2$. Последняя цифра соответствует величинам предельного равновесия, рассчитанным по формуле Мейергофа при сдвиговых параметрах, определенных при τ_5 .

С учетом сказанного выше и результатов испытания штампом и свай на слабых глинистых грунтах предлагается табл. 2 для определения характерных нагрузок. Если для слабых глинистых грунтов при $\tau_3 \neq 0$, то q_3 определяется по формуле Терцаги или Мейергофа с использованием сдвиговых параметров при τ_3 .

В каждом интервале между характерными нагрузками грунт деформируется по-разному и имеет различные показатели деформации, которые возможно определить по результатам полевых штамповых опытов с учетом влияния фактора времени, по методике В. Яанисо (Jaaniso, 1977) или автора (Mets, 1976). Для ленточных глин в Пярну результаты подобной обработки приведены в табл. 3, где $E_{\text{оп}}$ — модуль деформации, определенный по результатам штамповочного опыта; E_I — модуль деформации, определенный по результатам штамповочного опыта с обработкой по методике Яанисо; E_{II} — то же, но с обработкой по методике автора; E_K — компрессионный модуль общей деформации; K — коэффициент фильтрации.

Из табл. 3 видно, что характеристики деформации зависят от интервала нагрузок, для которого они были определены. При этом отмечается относительно хорошая сходимость между величинами, которые получены полевыми штамповыми опытами с учетом влияния фактора времени (E_1 и E_{II}) и лабораторными компрессионными опытами. Хотелось бы использовать полученные величины E в расчете осадок и охарактеризовать каждый слой соответствующим модулем деформации. Но это противоречит существующей практике расчета осадок сооружений на слабых глинистых грунтах.

Работами В. Яанисо, А. Вило и др. (1970) доказано, что для определения конечных осадок сооружений на слабых глинистых грунтах надо использовать значения модулей деформации, которые определены в ходе компрессионных испытаний после лавинного нарушения структуры. Это гарантирует достаточную для инженерной практики точность.

На рис. 4 приведены результаты наблюдения за осадками цистерн в городе Пярну. Под цистернами 1—3 нагрузка на кровлю ленточных глин больше q_3 , а под цистернами 4 и 5 — меньше этой величины. На графике приведены: $S_{M_{II}}$ — мгновенная осадка при первом заполнении цистерн, которая характеризует только цистерны 1—3; $S(t=6,5 \text{ л})$ — осадка цистерны за 6,5 года; S_∞ — конечная осадка, которая определена при помощи обработки графиков $S=f(t)$; $S_\infty(E=5 \text{ кг}/\text{см}^2)$ и $S_\infty(E=10 \text{ кг}/\text{см}^2)$ — конечные осадки, которые определены при соответствующих модулях деформации; $S_\infty(E=f(t))$ — конечные осадки, которые определены с учетом зависимости $E=f(\sigma)$.

Зависимости $S_\infty=f(\sigma)$ и $S(t=6,5 \text{ года})=f(\sigma)$ состоят из двух прямолинейных участков. Один характеризует работу грунта при нагрузках меньше q_3 , а второй — при нагрузках выше указанной. При этом интенсивность осадок цистерн сильно нарастает при нагрузках выше q_3 . Прямолинейность участков указывает на то, что для определения осадок на первом и втором участке можно использовать аппарат теорий упругости при соответствующих характеристиках деформативности грунта. Расчеты осадок проведены для цистерн 1, 2 и 4, а их результаты приведены на рис. 4, из рассмотрения которого можно сделать следующие выводы.

1. При $\sigma > q_3$ (цистерны 1 и 2) использование компрессионного модуля $E=5 \text{ кг}/\text{см}^2$ или зависимости $E=f(\sigma)$ дает примерно одинаковые (но относительно приемлемые) результаты. Определенные обратным расчетом (по величине конечных осадок) модули деформации для 1 и 2-й цистерн равны соответственно $6,8$ и $6,4 \text{ кг}/\text{см}^2$.

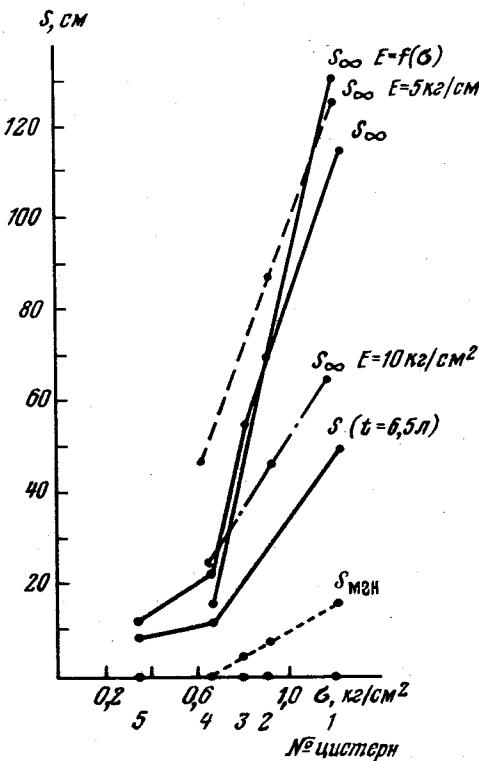


Рис. 4. Зависимость между нагрузкой на кровлю слабых грунтов (σ) и осадкой цистерн (S)

2. При $\sigma < q_3$ (цистерна 4) использование в расчете $E=5 \text{ кг}/\text{см}^2$ завышает величину конечных осадок почти в 2 раза, а использование зависимости $E=f(\sigma)$ дает несколько заниженные результаты. Определенная обратным расчетом величина модуля деформации для цистерны 4 равна $12 \text{ кг}/\text{см}^2$.

3. Полученные расчетами результаты указывают, что использование при $\sigma > q_3$ в расчете осадок компрессионных модулей деформации или зависимости $E=f(\sigma)$ дает вполне приемлемые результаты. При $\sigma < q_3$ приемлемые результаты дает использование зависимости $E=f(\sigma)$, но окончательное определение этой зависимости требует проведения дополнительных исследований.

4. Многие авторы связывают величину q_3 (правильнее — величину лавинного нарушения структуры) с давлением предварительного уплотнения. Анализ результатов испытания образцов, которые отобраны на различных глубинах, наводит на мысль, что эта нагрузка не столько характеризует давление предварительного уплотнения, сколько нагрузку, при которой грунт начинает интенсивно деформироваться. Если рассматривать величину q_3 как нагрузку предварительного уплотнения слабых глинистых грунтов, то ленточные глины под цистернами 1—3 (где нагрузка на кровлю слабых глинистых грунтов больше q_3) надо рассматривать как недоуплотненные глины, а под цистернами 4 и 5 — как переуплотненные.

Эстпромпроект

Поступила в редакцию
27.IV.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Вило А., Метс М. Определение несущей способности слабых глинистых грунтов полевыми опытными нагрузками. — В кн.: Строительство на слабых грунтах. Рига, 1970.
 Метс М. Развитие методов определения несущей способности одиночных свай с помощью статических и динамических испытаний. — В кн.: Геотехника. Рига, 1976.
 Смирнова А., Вило А., Метс М. Особенности сжимаемости слабых глин. — Прибалтийская геотехника, вып. 11. Таллин, 1972.
 A jutised juhisid ehitusgeologiliseks Eesti NSV-s. Tallin, 1971.
 Jaaniso V. Hoonele vajumine ja deformatsioonid. Ehitusgeoloogia kogumik IV. Tallinn, 1971.
 Jürgenson L. The application of theories of elasticity and plasticity of foundation problems. — J. Boston Soc. Civil. Engrs, 1934.
 Käär R., Lemberg U., Mets M., Vilo A. Pinnaste nihkeparametrite määramine. VI Eesti geotehnika konverentsi teesid. Tallinn, 1976.
 Mets M. Aja töö arvestamine plaatkoormuskätsel. Ehitusgeologia kogumik III. Tallinn, 1976.
 Mets M. Vaia kandevõime. Ehitusgeoloogia kogumik IV. Tallinn, 1977.
 Schmertmann I. H., Osterberg I. O. An experimental study of the development of cohesion and friction with axial strain in saturated cohesive soil. — In: Shear Strength of Cohesive Soils. Colorado, 1960.

КОФФ Г. Л., ЛОБОДЕНКО В. Г., КОЛОМЕНСКИЙ Е. Н.

МИКРОСТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МОРЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ (НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОЙ МОРЕНЫ БЕЛОРУССИИ)

Моренные отложения распространены на значительной части территории СССР, являясь основанием многочисленных инженерных сооружений. Однако многие аспекты пространственной изменчивости и взаимосвязи строения, состава и инженерно-геологических свойств моренных отложений остаются неясными.

В отличие от субаквальных и многих субконтинентальных отложений особенности литогенеза моренных отложений изучены недостаточно. Некоторые исследователи считают, что для моренных отложений, в том числе и для части моренной толщи, затронутой гипергенезом, закономерные изменения в пространстве состава и свойств не характерны.

Авторами изучались строение, состав и свойства московской морены (могилевской стадии — m_2) в пределах Белорусской ССР.

Все исследованные участки расположены в пределах Оршанской впадины Московской синеклизы, где моренные отложения занимают около 80% территории, местами выходя на дневную поверхность или залегая близко к ней. Мощность их изменяется от 10—20 до 100 м и более (Каган, Солодухин, 1971). Геолого-литологическое строение отложений показано на рис. 1. На первом участке (скв. 29, рис. 1, а) московская морена представлена только верхним горизонтом ($gQ_{II}m_2$). На втором участке (скв. 1) морена перекрыта покровными пылеватыми супесями ($prQ_{II}v$) и флювиогляциальными песчаными отложениями периода отступления московского ледника ($fQ_{II}m^*$). На третьем участке (скв. 4) московская морена перекрыта маломощной насыпью.

Гранулометрический состав исследованных моренных отложений характеризуется преобладанием пылеватых частиц (рис. 2). Число глинистых частиц на участках скважин 1 и 29 остается по разрезу практически постоянным, а на участке скв. 4 увеличивается по вертикали от 6,48 (глубина 2,8—3,0 м) до 19% (5,0 м).

По отношению процентного содержания частиц менее 5 и 1 мкм в гранулометрическом и микроагрегатном составе определялись коэффициенты агрегированности K_a . Значения K_a составляют в кровле верхней зоны 2,0—2,2 (<5 мкм) и 3,0 (<1 мкм), в верхней зоне — 1,8—1,9 (<5 мкм) и 1,8—1,9 (<1 мкм), в переходной зоне — 1,5—1,9 (<5 мкм) и 2,0—2,9 (<1 мкм), в нижней зоне — 1,5—1,8 (<5 мкм) и 1,6—1,9 (<1 мкм).

Минеральный состав глинистой фракции исследовался с помощью дифрактометра УРС-55М с количественным определением относительного содержания глинистых минералов.

По данным дифрактометрических исследований, основным глинистым минералом является диоктагидрическая гидрослюдя, содержание которой в большинстве случаев превышает 50% (таблица).

Содержание гидрослюды несколько уменьшается по направлению к подошве исследованного разреза. Во всех образцах в значительном количестве присутствуют смешанослойные образования гидрослюдисто-

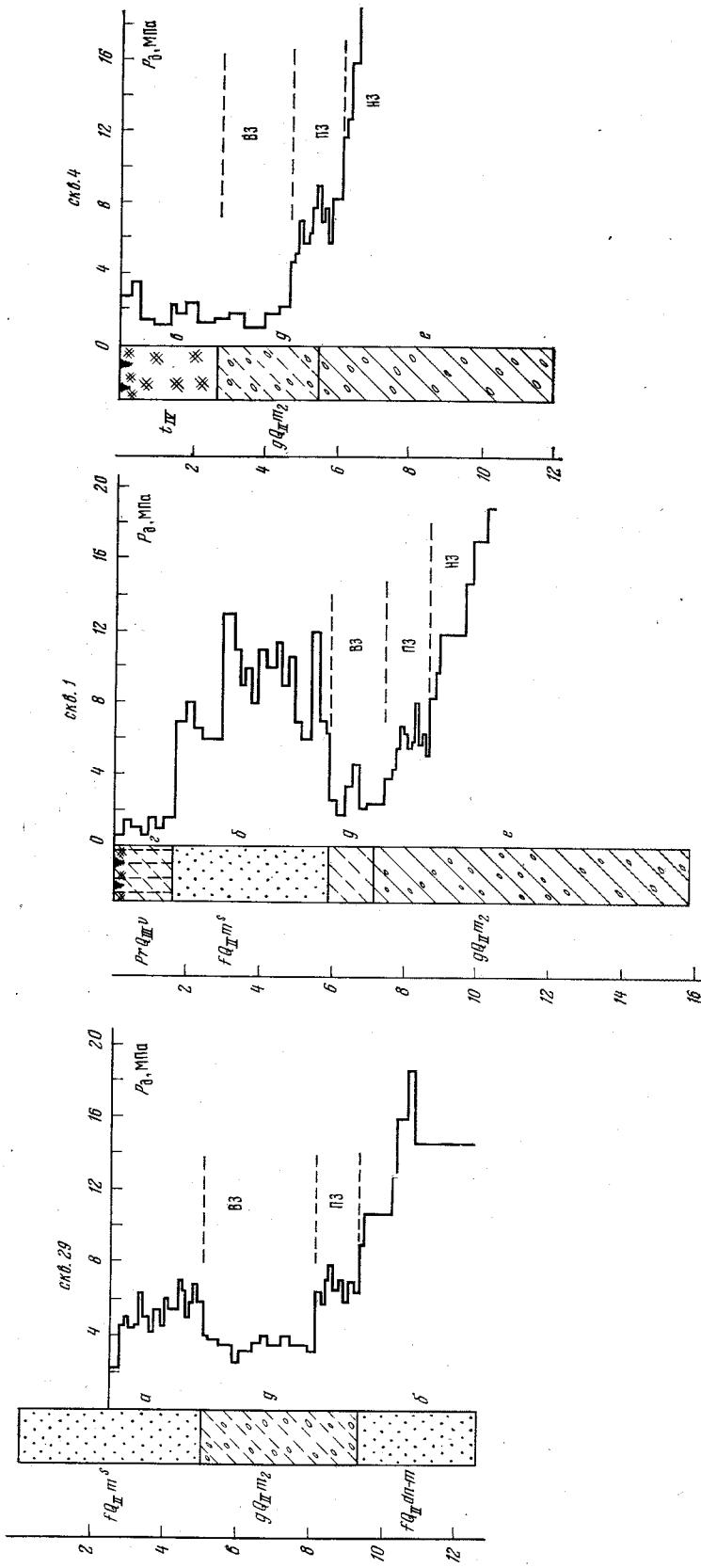


Рис. 1. Характерные литологические колонки скважин (пробуренные на исследованных участках) и графики зондирования. В3 — верхняя зона, П3 — переходная зона, Н3 — нижняя зона; P_d , MPa — условное динамическое сопротивление зондированию; а — крупный песок; б — песок средней крупности; в — насыпь; г — супесь пылеватая лессовидная; д — супесь моренная; е — супесь моренная лессовидная.

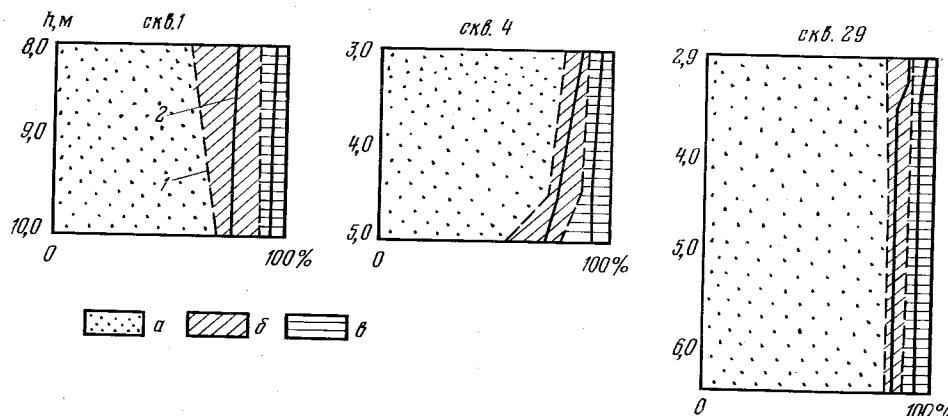


Рис. 2. Диаграммы изменения гранулометрического (1) и микроагрегатного (2) составов морены. а — песчаная фракция; б — пылеватая фракция; в — глинистая фракция

вермикулитового типа (в отношении от 75 : 25 до 60 : 40). Содержание смешанослойных минералов в самой верхней части разреза понижено (25—30%), увеличивается в средней части разреза (до 40%) и вновь заметно снижается по направлению к подошве (до 20—25%). Количество пакетов вермикулита в смешанослойных образованиях увеличивается в средней части разреза (см. таблицу). Во всех пробах в качестве примесей встречаются плохо окристаллизованный каолинит (10—15%), вермикулит (5—15%), хлорит и незначительная примесь галлуазита. Близкие результаты исследования глинистой фракции образцов из московской морены получены и другими авторами (Лукашев, Астапова, 1971).

Низкое содержание тонкодисперсных частиц и преимущественно гидрослюдистый состав глинистой фракции обуславливают сравнительно низкие значения пределов пластичности глинистых грунтов. Влажность на пределе текучести изменяется от 16 до 21%, несколько возрастая в средней части разреза, что соответствует увеличению содержания в этой части разреза смешанослойных образований. Влажность на пределе раскатывания варьирует в небольших пределах — 11—13%. Число пластичности изменяется от 3 до 10%.

Как видно из рис. 3, естественная влажность изменяется от 10,8 до 14,5%, в целом мало изменяясь по вертикали. Значения пористости постепенно уменьшаются с глубиной.

Содержание глинистых минералов в составе тонкодисперсной фракции (<0,001 мм)

Скважина 1

Глубина, м	гидрослюд	Содержание глинистых минералов в тонкодисперсной фракции, %				
		смешанослойные образования гидрослюдисто-вермикулитового типа с соотношением слоев			каолинит	вермикулит
		75 : 25	70 : 30	60 : 40		
6,5	50	30	—	—	10	5—10
7,0	65—70	20—25	—	—	10	Примесь
7,4	60—65	—	25—30	—	10	—
7,9	40—50	—	40	—	10	5—10
8,2	50	—	40	—	10	—
8,6	50—55	—	35	30	5—10	5—10
9,0	50—55	—	—	5—10	10	Примесь
9,4	55—60	—	20—25	—	10	10—15
9,8	60—65	—	—	20	10—15	5
10,0	50—55	—	25	—	10	10—15

На исследованных участках морена опробовалась динамическим зондированием. Зондирование выполнялось станком УБП-15 с основным типом оборудования (конус диаметра 74 мм с углом при вершине 60°, молот весом 60 кг с высотой падения 0,8 м), регистрация глубины погружения и величины условного динамического сопротивления (P_d) велась с помощью автоматического самописца конструкции БелГИИЗа.

Монолиты отбирались из скважин вдавливаемыми грунтоносами (II модели нормального ряда). В лабораторных условиях испытания грунтов проводились методом одноосного сжатия на приборе ИГП-10 конструкции ВСЕГИНГЕО с автоматическим регистратором зависимости «напряжение — деформация».

Вертикальные изменения механических свойств по сравнению с физическими носят более закономерный характер. По данным динамического зондирования и величине временного сопротивления одноосному сжатию (рис. 1 и 3) в вертикальных разрезах моренных отложений выделяются верхняя (ВЗ), переходная (ПЗ) и нижняя (НЗ) зоны. Мощность верхней зоны изменяется от 0,5—1 до 2—4 м, переходной — от 0 до 2—3 м. Подобные зоны в почти однородных по гранулометрическому составу и ряду физических свойств моренных разрезах прослеживаются и в других районах Белоруссии, в частности в районе Минска (Лободенко, 1977, 1978). Верхний горизонт выделяется в ряде случаев и при погружении кровли морены на значительную глубину (до 10—12 м от поверхности земли).

Для отложений верхней зоны характерны значения временного сопротивления образцов одноосному сжатию, равные 0,01—0,13 МПа ($R=0,06$), для нижней зоны — 0,08—0,2 до 0,5 МПа ($R=0,12$). При этом в верхней зоне в 1,5—2 раза увеличиваются значения коэффициентов вариации V_R . По направлению к верх-

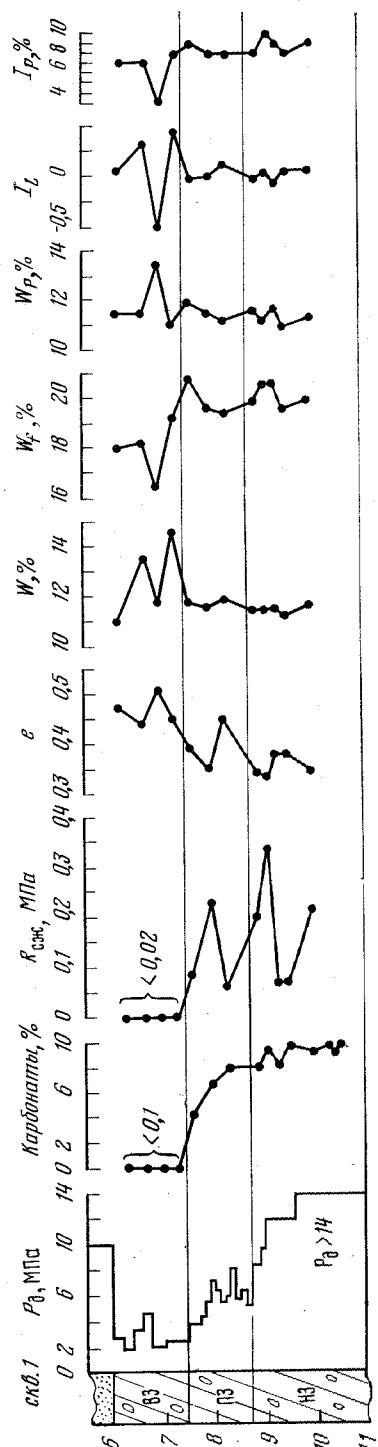


Рис. 3. Графики изменения осредненных показателей состава и инженерно-геологических свойств морены по глубине. $R_{\text{сж}}$ — прочность на одноосное сжатие; W — естественная влажность; W_f , W_p — влажность на пределах текучести и раскатывания; I_p — число пластичности; I_L — количество консистенций. Прочие обозначения см. в подписи к рис. 1

ней зоне значения модуля деформации (E), определенные с помощью штампов, снижаются с 20—40 до 6—15 МПа. В отдельных случаях показатели механических свойств грунтов верхней зоны бывают выше, чем у грунтов нижней зоны (Лободенко, 1977) *.

На исследованных участках, как и в других районах Белоруссии, выделяется также переходная зона (ПЗ) с промежуточными значениями показателей механических свойств (рис. 3). Все три зоны (ВЗ, ПЗ, НЗ) отмечаются в разрезах скважин 1 и 4. В ряде работ отмечалось двуслойное строение морены по вертикали (Каган, Солодухин, 1971; Лободенко, 1977; Максимов, 1966). При этом указывалось, что верхний слой характеризуется большей песчанистостью или пылеватостью и иногда пониженной плотностью. Отмечалось также увеличение книзу содержания карбонатов: в наших исследованиях — менее 2% в верхней зоне и более 8% в нижней зоне (рис. 3). Рядом авторов была показана повышенная изменчивость показателей состава и физико-механических свойств по направлению к кровле. Некоторые авторы связывают дифференциацию моренной толщи с наличием аблационной и донной морен (Каган, Солодухин, 1971). Однако на исследованных участках верхняя зона не представлена аблационной мореной, встречающейся в Белоруссии довольно редко (Матвеев, 1973). Исследованным нами отложениям верхней зоны не свойственны такие признаки аблационной (потоково-абляционной) морены, как наличие развитых песчаной и крупнообломочной фракций, слоистость (ниже показано, что верхняя зона характеризуется хаотичной ориентацией микроструктурных элементов), содержание песчаных линз, прослоев и т. д. (Рухина, 1960). Явно отличие грунтов верхней зоны и от мореноподобных отложений: отсутствие следов мерзлотных деформаций, сравнительно низкие пористость, глинистость и др.

Таким образом, вертикальная изменчивость морены по механическим свойствам наблюдается на фоне монотонных в целом характеристик физических свойств и гранулометрического состава. С целью расшифровки природы изменчивости свойств морены по вертикали, в результате которой определяются границы трех характерных зон, нами были предприняты исследования микростроения моренных грунтов.

Микростроение моренных глинистых грунтов исследовалось на образцах трех серий, отобранных с помощью грунтоноса из скважин 1, 4 и 29. Образцы отбирались с различных глубин, в среднем через 0,5 м. Микроснимки были получены с помощью растрового электронного микроскопа «Квиксан-107А» в электронно-микроскопической лаборатории кафедры грунтоведения и инженерной геологии геологического факультета МГУ. Образцы готовились к съемке по методике, разработанной В. И. Осиповым и В. Н. Соколовым (1976). Затем проводился количественный анализ растровых микроснимков, которые обрабатывались на анализаторе структур. Принцип работы анализатора заключается в сравнении точек структуры с серией стандартных эталонов. Дискретизированные сигналы введенного с помощью телевизионной камеры изображения в двоичной форме пропускались через логические модули. В модулях по схеме совпадения производилось сравнение точек структуры с эталонами. Затем число совпадений выводилось на ЭВМ фирмы «Оливетти», в которой по специальной программе рассчитывались структурные показатели: распределение пор и агрегатов (частиц) по размерам, их средние характеристики (линейный размер, площадь и объем), параметры анизотропии и др. (Коломенский, Кофф, 1976). Все образцы исследовались в плоскости, перпендикулярной напластованию. Всего исследовано микростроение 50 образцов с увеличением в 100, 250,

* Это связано с развитием в грунтах верхней зоны окислов железа и алюминия, цементирующих агрегаты, и в меньшей мере с обезвоживанием грунтов.

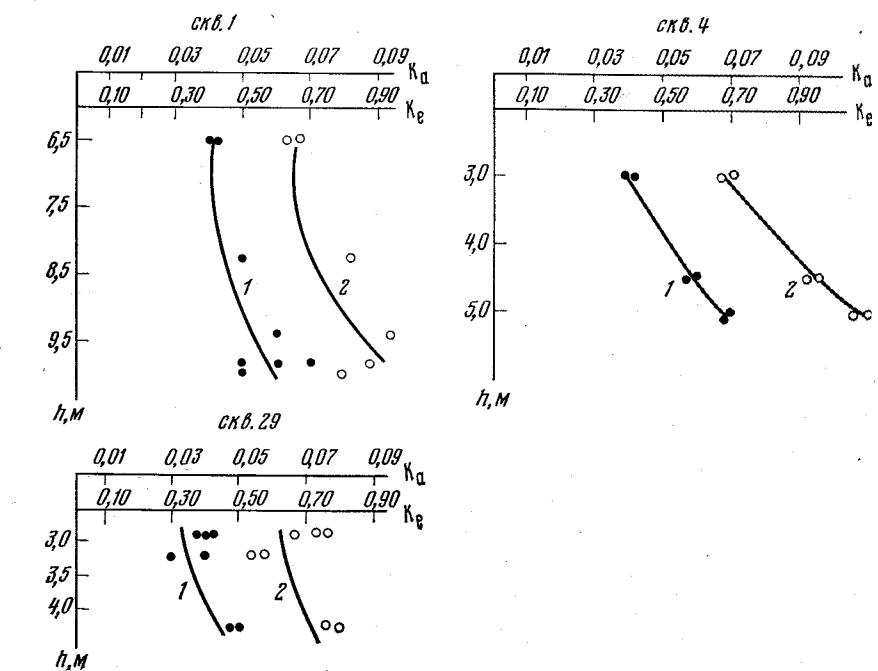


Рис. 4. Изменение величины коэффициента и показателя анизометричности морены по глубине. 1 — K_a ; 2 — K_e

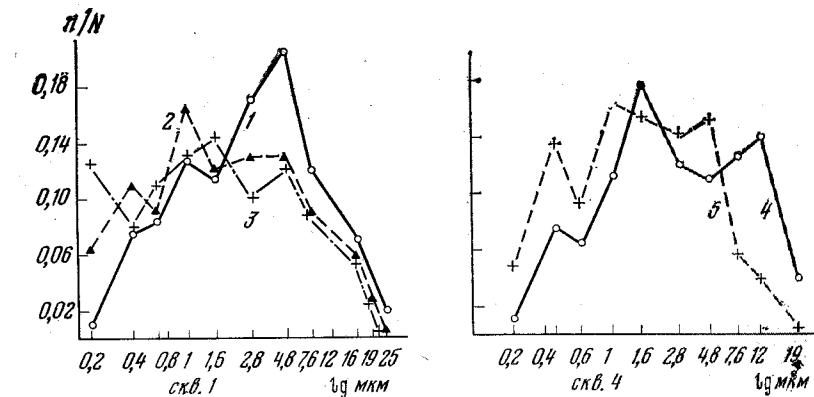


Рис. 5. Кривые распределения микропор по размерам в зависимости от глубины, м: 1 — 6,5; 2 — 9,8; 3 — 10,0; 4 — 4,5; 5 — 5,0

500, 1000 и 5000 раз. Основные количественные показатели получены по микроснимкам с увеличением 250, 500 и 1000 (рис. 4—6).

Микропористость исследованных структурных площадок образцов оценивалась с помощью коэффициента микропористости $K_{\text{мп}}$. Величина $K_{\text{мп}}$ образцов изменяется мало (0,57—0,67), незначительно снижаясь к подошве разрезов.

Ориентация структурных элементов, изображенных на микроснимках, характеризовалась с помощью K_a и K_e — коэффициента и показателя анизометричности структурных элементов (Кофф, Мошанский, 1976).

Анализ результатов исследования ориентации микроструктурных элементов показывает, что с увеличением глубины залегания образцов от поверхности степень анизометричности возрастает. Особенно заметна ориентация микроструктурных элементов в образцах переходной зоны

и в меньшей мере нижней зоны. Более хаотичной ориентацией характеризуются образцы верхней зоны. Повышенная ориентация микроструктурных элементов наиболее свойственна образцам переходной зоны, вскрытой скв. 4.

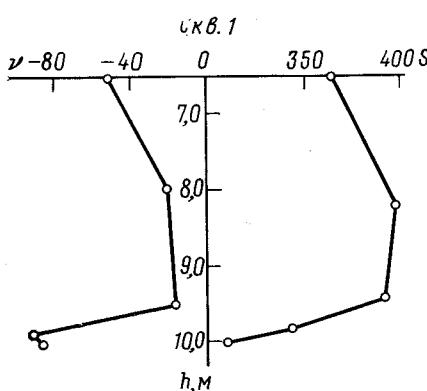
Некоторые характерные результаты исследования дифференциальной микропористости образцов отражены на рис. 5. В целом распределение микропор по размерам выражается асимметричными кривыми. Для образцов из верхней и переходной зон характерны максимумы в области более 1,5 мкм; для образцов из низов переходной зоны и образцов нижней зоны — менее 1,5 мкм, т. е. максимумы размеров пор у образцов нижней зоны смещаются в область малых значений. Возрастание ультрамикропористости в образцах из нижней части разрезов отмечается на графиках дифференциальной пористости (рис. 5). Это связано, по-видимому, с заметным слиянием мелких агрегатов в более крупные, с возрастанием числа контактов и соответствующим уменьшением межагрегатной и увеличением внутриагрегатной микропористости.

Рис. 6. Изменение морфологических структурных характеристик морены по глубине. ν — число связности; S — «звезды» (в условных единицах)

увеличением 1000, т. е. на снимках, в большей мере отображающих межагрегатную пористость. Рост агрегатообразования с глубиной выражается и в относительном уменьшении морфологических характеристик — числа связности и «звезды»* (рис. 6).

Уменьшение числа связности обусловливается своеобразным «наведением» мостиков в межпоровом пространстве, т. е. возрастанием числа контактов. Эти данные не всегда согласуются со значениями коэффициентов агрегированности образцов из переходной, а местами — из нижней зоны, что свидетельствует о недостаточной информативности показателей агрегированности. Поскольку, как отмечалось выше, грунты верхней зоны на исследованных участках не обладают признаками абляционной морены и мореноподобных отложений (хотя залегание в кровле абляционной или потоково-абляционной морены и мореноподобных отложений на других участках вообще не исключается), характерные черты верхней зоны следует объяснять влиянием процессов гипергенеза. Гипергенез обусловил специфические изменения структуры и текстуры грунтов на исследованных участках и связанное с ними снижение прочностных характеристик. Увеличение карбонатности вниз по разрезу, объясняющееся выщелачиванием карбонатов из верхней зоны и частичным переотложением их в нижней зоне, наряду с другими процессами, в том числе и разуплотнением, способствует формированию в кровле разрезов менее агрегированных структур с пониженной ультрамикропористостью (за исключением кровли верхней зоны, где агрегация в тонком слое происходит в результате почвообразовательных процессов). Агрегация отложений в переходной зоне может быть связана (как

* Под числом связности в математической морфологии понимается разность между количеством изолированных пор и включений в порах в пределах структурной площадки грунта. «Звезда» S — величина площади средней поры в исследуемой структурной площадке грунта.



и относительное упорядочение текстуры) с повышением в составе глинистой фракции содержания смешанослойных образований (таблица) и увеличением содержания карбонатов. Ниже по разрезу агрегация проходит в результате уплотнения отложений и цементации их мигрирующими карбонатами.

Повышение агрегированности и уменьшение числа крупных пор книзу увеличивает структурную прочность грунтов. С другой стороны, локально изменчивые по направленности процессы гипергенеза способствуют в целом разориентации структурных элементов грунтов верхней зоны. Исследованные авторами образцы грунтов с более хаотичными структурами характеризуются пониженной прочностью и большей деформируемостью, чем отложения с агрегированной структурой и относительно упорядоченной текстурой (нижняя зона). Правда, К. И. Лукашев и С. Д. Астапова (1971) отмечают в шлифах определенную ориентацию глинистого материала вдоль трещин, корешковых пор и т. п. Однако это касается только тонкого почвенного слоя, покрывающего верхнюю зону. Подобная концентрация глинистого материала нашла, вероятно, отражение в отмеченной нами повышенной агрегированности отложений кровли верхней зоны. С гипергенными процессами связано и формирование смешанослойных образований вермикулит-гидрослюдистого состава, хотя изменения минерального состава глинистой фракции по разрезу, несомненно, обусловливаются не только эпигенетическими факторами, но и первичными особенностями формирования принесенного и местного материала (включая и изменения его в ходе гипергенеза в периоды осцилляций ледникового покрова). Так, ориентация структурных элементов в грунтах переходной и нижней зон может явиться следствием особенностей литогенетической среды, обусловливаясь не «чисто» ледниковым, а водно-ледниковым ее характером. При таком предположении может быть объяснено стадиальное увеличение содержания смешанослойных образований в глинистой фракции отложений переходной зоны по сравнению с вышележащими грунтами верхней зоны. Относительное увеличение ориентации структурных элементов в образцах из грунтов нижней зоны может быть связано и с гляциотектоническими дислокациями (Матвеев, 1973). Выполненные исследования состава, строения и свойств залегающих близко к дневной поверхности моренных отложений позволяют сделать ряд выводов.

Ледниковый литогенез исследованных отложений отличался, по-видимому, прерывистостью и различной ролью водно-ледниковой компоненты во времени, что наложило отпечаток на первоначальные состав, структуру и текстуру отложений и определило особенности изменения строения и свойств грунтов выделенных вертикальных зон, различающихся по структурно-текстурным показателям и механическим характеристикам: верхней, переходной и нижней. Процессы гипергенеза на исследованных участках вызвали относительную разориентацию и дезинтеграцию микроструктурных компонентов в верхней зоне, что определило относительное снижение прочностных характеристик. В условиях слабого изменения состава (за исключением карбонатности) и монотонности физических свойств структура оказалась наиболее подвижной характеристикой грунта, сравнительно быстро «реагирующей» на изменение литогенетических условий. Таким образом, характерные черты микростроения грунтов различных зон обусловлены влиянием процессов гипергенеза, наложившихся на особенности диагенеза отложений. В свою очередь различия микростроения грунтов по глубине оказали существенное влияние на вертикальную изменчивость механических свойств.

ЛИТЕРАТУРА

- Каган А. А., Солодухин М. А. Моренные отложения Северо-Запада СССР. Л. «Недра», 1971.
- Коломенский Е. Н., Кофф Г. Л. О методах количественной оценки изображений структуры скальных пород.— В сб.: Инженерная геология скальных массивов. М., «Наука», 1976.
- Кофф Г. Л., Моцанский В. А. Структурные модели как метод изучения генезиса пород. Сб. трудов МИИТа, 1976.
- Лободенко В. Г. Пространственная изменчивость свойств моренных грунтов.— В сб.: Гидрогеологические и инженерно-геологические проблемы Белоруссии. Минск, БелНИГРИ, 1977.
- Лободенко В. Г. Определение модуля деформации моренных грунтов по сопротивлению статическому зондированию.— В сб.: Гидрогеологические и инженерно-геологические условия Белоруссии. Минск, БелНИГРИ, 1978.
- Лукашев К. И., Астапова С. Д. Геохимические особенности моренного литогенеза. Минск, «Наука и техника», 1971.
- Максимов М. М. Некоторые результаты инженерно-геологических исследований основной морены.— Геология и разведка, 1966, № 4.
- Матвеев А. В. Текстурные особенности моренных горизонтов как показатель условий их формирования и преобразования.— В сб.: Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии. Минск, «Наука и техника», 1973.
- Осипов В. Й., Соколов В. Н. Подготовка образцов глин для микроструктурных исследований. Матер. XI Всес. совещ. по изучению и использованию глин и глинистых минералов. М., «Наука», 1976.
- Рухина Е. В. Литология моренных отложений, Изд-во ЛГУ, 1960.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

5 · 1979

СОКОЛОВ В. Н., ЛАПОЧКИН Б. К.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАМЫВНЫХ ГРУНТОВ ГИДРООТВАЛОВ КУЗБАССА

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом приводит к нарушению огромных площадей ценных земельных угодий, отчуждаемых горными предприятиями у сельского хозяйства, в частности под размещение отвалов вскрышных пород. В течение долгого времени работы по сокращению нарушенных земель не получали должного развития в горной практике и даже в известной степени сдерживались ввиду бытавшего в то время неверного представления о том, что земельные ресурсы страны практически неисчерпаемы. Такой подход к этому вопросу в настоящее время осужден и бережное отношение к каждому гектару земли стало важной государственной задачей.

В ряде правительственные постановлений, касающихся вопросов охраны окружающей среды, конкретно указывается на обязанности горных предприятий по отношению к отчуждаемым ими у сельского хозяйства земельным угодиям и на необходимость предельного сокращения нарушенных земель. В силу этого обоснование возможности использования территорий заполненных гидроотвалов в качестве «искусственных» оснований под размещение на них отвальных насыпей является важным природоохранным мероприятием.

На территории Кузбасса имеется много действующих и заполненных гидроотвалов. Поэтому возвращение их территорий горным предприятиям для повторного использования под отвалообразование — весьма актуальная задача. В настоящее время отдельными угольными разрезами уже ведутся работы по размещению «сухих» вскрышных пород на территориях заполненных гидроотвалов. По мере развития этих работ и продвижения отвального фронта в глубь территорий гидроотвалов часто отмечаются внезапные оползни откосов и проседания отдельных участков насыпей, представляющие большую опасность для работающего персонала и техники. Для обеспечения безопасной и экономически эффективной технологии работ и регламентирования порядка формирования отвальных насыпей возникла необходимость детального инженерно-геологического изучения намывных массивов глинистых грунтов, физическая природа которых, а также процессы, протекающие в них под действием внешних нагрузок и во времени, изучены в настоящее время чрезвычайно слабо. Помимо сугубо практического интереса детальное изучение намывных глинистых грунтов представляет большой научно-методический интерес, так как сведения о намывных грунтах практически отсутствуют. Поэтому материалы, представленные в предлагаемой статье, являются по существу первой попыткой дать инженерно-геологическую характеристику намывных техногенных глинистых грунтов, слагающих массивы гидроотвалов.

Гидравлической разработке на угольных месторождениях Кузбасса подвергаются четвертичные отложения главным образом пылевато-глинистого состава: пылеватые суглинки, лессовидные суглинки, реже пылеватые глины, иловатые суглинки, легкие супеси (Инженерно-геологические условия, 1973; Резников, Богатырев, 1975). Количество соотно-

Таблица 1
Инженерно-геологическая характеристика вскрышных пород угольных разрезов
Кузбасса, разрабатываемых средствами гидромеханизации*

Краткое описание пород	Гранулометрический состав			Плотность грунта $\gamma, \text{г/см}^3$	Естественная влагость $W, \%$	Объемная масса влажного грунта $\Delta, \text{г/см}^3$	Объемная масса скелета $\Delta_{\text{ск}}, \text{г/см}^3$	Пористость $n, \%$	Сопротивление сдвигу	
	более 0,05 мкм	0,05— 0,01 мкм	менее 0,01 мкм						$C, \text{МПа}$	$\phi, \text{град}$
Суглинок пылеватый, макропористый, ожелезненный, с гравием и галькой. Мощность до 25 м	17	65	18	2,68	23,3	1,94	1,57	41,4	0,46	21,3
Суглинок лессовидный, макропористый, с дресвой и щебнем. Мощность 20—23 м	10	74	16	2,70	26,3	1,94	1,54	41,1	0,44	20,0
Суглинок иловатый, туготекущепластичный, с редкими включениями дресвы, гравия, гальки. Мощность 2—4 м	9	75	16	2,62	35,5	1,80	1,33	49,2	0,45	18,2
Глина пылеватая, тугомякопластичная. Мощность 2—5 м	15	60	25	2,68	22,0	1,96	1,61	39,9	0,38	21,0

* Минеральный состав фракции <1 мкм: каолинит 7,5—10,0%; гидрослюды 40,0—50,0%; смешанослойные 30,0—45,0%; хлорит 7,5—10,0%.

шение литологических разновидностей разрабатываемых пород в разрезах различных месторождений изменяется в незначительных пределах. Следовательно, во все гидроотвалы поступает гидросмесь практически идентичного состава. Осредненные значения основных параметров инженерно-геологических свойств вскрышных пород угольных карьеров Кузбасса приводятся в табл. 1.

Инженерно-геологические исследования намывных грунтов проводились на трех гидроотвалах производственного объединения «Кемеровоуголь»: «Свободном», «Южном» и «Бековском», выбранных с учетом времени «отдыха» намывных масс, т. е. времени, прошедшего с момента прекращения намыва. Так, гидроотвал «Свободный» на момент проведения изысканий отдохнул 18 лет, гидроотвал «Южный» — 9 лет и «Бековский» — 4 года. Учитывая, что состав гидросмеси, поступающей во все гидроотвалы, практически идентичен, такой подбор объектов исследований позволил авторам изучить временные зависимости параметров инженерно-геологических свойств, т. е. дал возможность выявить антропогенно-литогенетические изменения техногенных глинистых образований во времени.

Параметры сети инженерно-геологического опробования задавались согласно специальной методике проведения изысканий на территориях гидроотвалов (Лапочкин, 1977).

На рис. 1 приводится разрез-схема строения гидроотвала «Свободный», построенная по линии тальвега оврага (вкрест фронту намыва).

На рисунке видно, что в процессе гидроотвалообразования по мере удаления от фронта намыва (линии торцов пульповодов, из которых производится выпуск гидросмеси) происходит дифференциация гидросмеси на фракции. При этом грубые песчаные частицы концентрируются в районе выпуска пульпы, формируя наружную, приоткосную зону, более мелкие, преимущественно тонкопесчаные — пылеватые частицы относятся потоком несколько дальше и формируют промежуточную зону и, нако-

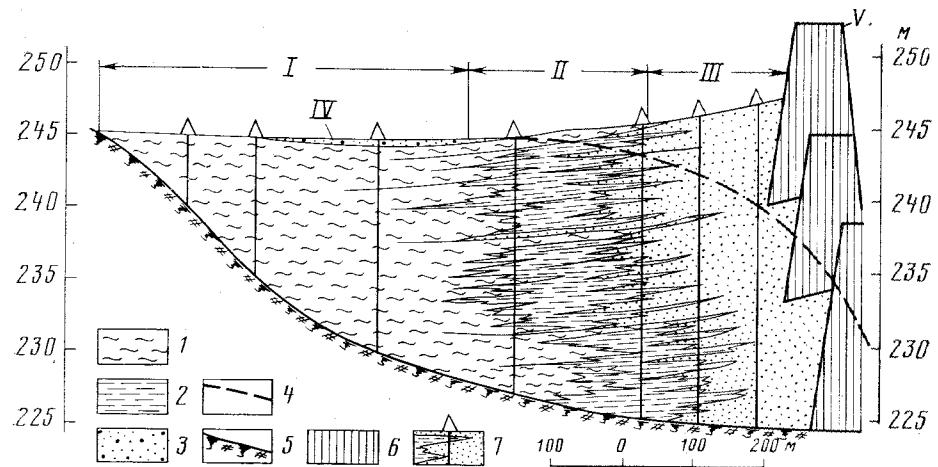


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез массива гидроотвала «Свободный»: I — прудовая зона гидроотвала; II — промежуточная зона гидроотвала; III — приоткосная зона гидроотвала; IV — фрагмент прудка-отстойника; V — дамба гидроотвала; 1 — намывные глинистые грунты прудковой зоны; 2 — намывные суглинистые грунты промежуточной зоны; 3 — намывные супесчаные грунты приоткосной зоны; 4 — уровень грунтовых вод; 5 — почвенно-растительный слой основания гидроотвала; 6 — насыпные грунты тела дамбы гидроотвала (щебень и дресва алевролитов и песчаников, суглинки, глины); 7 — скважины инженерно-геологического опробования

нец, самые тонкие, глинистые частицы осаждаются в прудке-отстойнике, формируя прудковую, самую обширную для условий Кузбасса зону.

Изменение состава размываемых вскрышных пород, консистенции и расхода гидросмеси, меандрирование потока пульпы по пляжу намыва обуславливают размеры формирующихся зон, а также чередование прослойков различного гранулометрического состава в вертикальном разрезе массива гидроотвала (рис. 1). Толщина отдельных прослойков изменяется от нескольких миллиметров до 5—7 см и более. Проявление слоистости, а также выдержанности ее по простианию наиболее характерно для грунтов промежуточной зоны.

Для изучения инженерно-геологических свойств намывных грунтов гидроотвалов производился комплекс натурных и лабораторных экспериментов. Лабораторные эксперименты включали в себя традиционные определения состава и водно-физических свойств по стандартным методикам, опыты по определению параметров сопротивления сдвига C и ϕ в сдвиговых приборах ГГП-30 по схеме быстрого сдвига (Чаповский, 1975), а также комплексные исследования механических свойств в условиях трехосного сжатия, позволившие определить коэффициенты консолидации и компрессии и параметры сопротивления сдвига. Исследования механических свойств грунтов в условиях трехосного сжатия проводились в стабилометрах М-2 по схеме неконсолидированных-недренированных испытаний (Чаповский, 1975), т. е. без возможности оттока воды из образцов в процессе проведения экспериментов. Минеральный состав глинистой фракции намывных грунтов определялся рентгеновским методом по методике Уивера (Weaver, 1967). Исследования микростроения проводились с помощью высокоразрешающего растрового электронного микроскопа типа «Квиксан-107». Образцы для исследований подвергались вакуумной морозной сушке по методике, описанной в работе (Осипов, Соколов, 1976). Описание микроструктур проводилось в соответствии с классификацией глинистых грунтов, изложенной в работе (Сергеев и др., 1979).

Полевые (натурные) эксперименты включали в себя измерения сопротивления намывных грунтов сдвигу методом вращательного среза с

помощью четырехлопастной крыльчатки, а также измерения порового давления датчиками-пьезодинамометрами ШПД-6 конструкции «Гидро-проекта». Поворотная крыльчатка и датчик порового давления конструктивно объединены в одну оригинальную систему — комбинированный зонд МГИ. По результатам измерений порового давления определялась степень уплотнения, являющаяся одной из важных характеристик, определяющих несущую способность намывных грунтов.

Степень уплотнения (U) намывных глинистых грунтов вычислялась по эпюрам напряжений (Гальперин, 1974):

$$U = \frac{w(\sigma_{\text{eff}})}{w(\sigma_{\text{cr}})} = \frac{w(\sigma_{\text{cr}}) - w[P_{\text{u}}(t)]}{w(\sigma_{\text{cr}})},$$

где $w(\sigma_{\text{cr}})$ — площадь эпюры напряжений для грунта в стабилизированном состоянии; $w[P_{\text{u}}(t)]$ — площадь эпюры избыточного порового давления в фиксированный момент времени t ; $w(\sigma_{\text{eff}})$ — площадь эпюры эффективных напряжений в скелете грунта в фиксированный момент времени t .

Площадь эпюры напряжений грунта в стабилизированном состоянии, уплотняющегося под действием бытовой нагрузки, определялась из выражения

$$w(\sigma_{\text{cr}}) = \frac{\Delta h^2}{2},$$

где Δ — объемная масса намывного грунта (расчитывается с учетом положения депрессионной поверхности), $\text{г}/\text{см}^3$; h — мощность намывной толщи, м .

Площадь эпюры эффективных напряжений $w(\sigma_{\text{eff}})$ определялась путем вычитания площади эпюры избыточного порового давления $w[P_{\text{u}}(t)]$ из площади эпюры $w(\sigma_{\text{cr}})$.

Избыточное поровое давление P_{u} определялось из выражения

$$P_{\text{u}} = P_{\text{w}} - P_{\text{w}'},$$

где P_{w} — общее давление воды в порах грунта (измеряется непосредственно датчиком-пьезодинамометром ШПД-6); $P_{\text{w}'}$ — гидростатическое давление.

Данные лабораторных и полевых исследований намывных грунтов одного из наиболее типичных объектов, гидроотвала «Свободный», приводятся в табл. 2. Результаты измерений порового давления в намывных грунтах этого гидроотвала (время отдыха 18 лет) показали, что избыточное поровое давление (сверх гидростатического) отсутствует во всех зонах и на всех глубинах. Следовательно, грунты этого гидроотвала полностью консолидировались за время отдыха.

Из данных табл. 2 видно, что физико-механические свойства консолидированных намывных грунтовых масс в различных зонах гидроотвала находятся в строгом соответствии с размерами осаждающихся частиц. Параметры сопротивления сдвигу C и ϕ , полученные с помощью четырехлопастной поворотной крыльчатки, характеризуют полностью консолидированные грунты, уплотнившиеся под бытовой нагрузкой до степени уплотнения, равной 1 ($U=1$). Параметры C^* и ϕ^* , полученные в стабилометре М-2 по схеме неконсолидированно-недренированных испытаний, характеризуют неконсолидированные грунты со степенью уплотнения, практически равной нулю ($U=0$).

Значения параметров C , ϕ при $U=1$ и C^* , ϕ^* при $U=0$ являются экстремальными. Учитывая идентичность состава исходной гидросмеси, эти параметры могут быть приняты в качестве расчетных для гидроотвальных масс других гидроотвалов глинистых пород разрезов Кузбасса.

С помощью интерполяции между лучами $U=1$ и $U=0$ на графиках сопротивления сдвигу $\tau=f(\sigma)$ были получены соответствующие па-

метры для намывных грунтов каждой зоны гидроотвалов промежуточных степеней уплотнения. Использование результатов интерполяции, приведенных в табл. 3, позволяет значительно упростить определение сопротивления сдвигу намывных грунтов при любой степени их уплотнения. Для этой цели достаточно измерить лишь поровое давление в исследуемом массиве, что не вызывает больших технических трудностей. Результаты измерений порового давления в массивах гидроотвалов «Бековский» и «Южный» с периодами отдыха соответственно 4 и 9 лет показали, что процесс консолидации в них еще не завершен. Анализ фактических данных по поровому давлению позволил выявить закономерности изменения степени уплотнения намывных грунтов различных зон гидроотвалов в зависимости от их мощности (рис. 2).

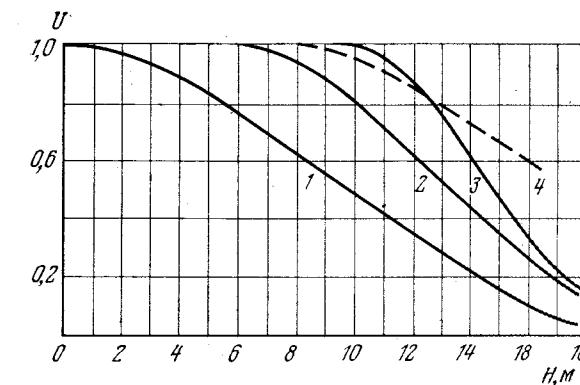


Рис. 2. Зависимость степени уплотнения (U) от мощности намывных грунтов (H) гидроотвалов «Бековский» и «Южный»:
1 — изменение степени уплотнения намывных грунтов прудковой зоны гидроотвала «Бековский»; 2 — изменение степени уплотнения намывных грунтов промежуточной зоны гидроотвала «Бековский»; 3 — изменение степени уплотнения намывных грунтов приоткосной зоны гидроотвала «Бековский»; 4 — изменение степени уплотнения намывных грунтов промежуточно-прудковой зоны гидроотвала «Южный»

Так как степень уплотнения намывных грунтов определяет их величину сопротивления сдвигу и, следовательно, несущую способность, то при формировании отвальных насыпей на территориях гидроотвалов необходимо учитывать мощность намывных оснований. Наличие готовых графиков зависимости степени уплотнения от мощности намывных масс (рис. 2) может оказать большую помощь при определении параметров «сухих» отвалов и значительно сократить объемы инженерно-геологических изысканий.

В силу того что мощность намывных грунтов изучаемых объектов не превышала 17—18 м, а в практике гидроотвала образования часто встречаются более глубокие гидроотвалы, то для изучения закономерностей изменения свойств намывных масс в широком диапазоне мощностей использовался дополнительный объект — прудковая зона гидроотвала «Сагарлыкский», мощность которой превышает 30 м.

При проведении натурных экспериментов по определению сопротивления сдвигу (в плоскости, параллельной напластованию) было найдено, что в диапазоне бытовых нагрузок 0—0,45 МПа, соответствующих интервалу мощностей намывных грунтов от 0 до 20—25 м, параметры сопротивления сдвигу характеризуются значениями: $C=0,03 \text{ МПа}$ и $\phi=9^\circ$. С глубиной (ниже 25 м) сопротивление сдвигу уменьшается и в интервале глубин 25—30 м достигает следующих значений: $C=0,035 \text{ МПа}$ и $\phi=7^\circ$. Подобный характер изменения прочности на сдвиг противоречил тенденции изменения объемной массы, пористости, влаж-

Таблица 2

Инженерно-геологические свойства намывных грунтов

Зона гидроотвала	Лабораторные									
	гранулометрический состав (размер фракций в мкм), %									
	>1,0	1,0—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	
Приоткосная	2	5	9	5	11	35	12	13	8	
Промежуточная	—	—	—	1	4	42	17	20	16	
Прудковая	—	—	—	—	2	20	22	30	26	

Таблица 3

Значения углов внутреннего трения намывных грунтов различной степени уплотнения, полученные по результатам натурных и лабораторных экспериментов с применением интерполяции

Степень уплотнения, U	Грунты приоткосной зоны	Грунты промежуточной зоны	Грунты прудковой зоны	Степень уплотнения, U	Грунты приоткосной зоны	Грунты промежуточной зоны	Грунты прудковой зоны
1,0	19°	15°30'	11°20'	0,5	12°20'	10°	7°10'
0,9	17°40'	14°25'	10°30'	0,4	11°	8°55'	6°20'
0,8	16°20'	13°20'	9°40'	0,3	9°40'	7°50'	5°30'
0,7	15°	12°10'	8°50'	0,2	8°20'	6°40'	4°40'
0,6	13°40'	11°05'	8°	0,1	7°	5°35'	3°50'
				0	5°40'	4°30'	3°

ности намывных грунтов с глубиной — вниз по разрезу наблюдалось уменьшение пористости с 55 (глубина 2 м) до 49% (глубина 29 м), уменьшение влажности от 39,2 до 35%.

Контрольные лабораторные опыты по схеме быстрого сдвига также показали меньшие значения параметров сопротивления сдвигу в нижней части разреза для образцов, в которых сдвигающее усилие прилагалось параллельно напластованию (аналогично приложению сдвигающего усилия при натурных испытаниях крыльчаткой). В то же время наблюдался закономерный рост прочности на сдвиг с глубиной для образцов, ориентированных перпендикулярно прикладываемому сдвигающему усилию. Иными словами, для нижних горизонтов намывных грунтов (на глубинах 25—30 м) наблюдалась ярко выраженная анизотропия прочности на сдвиг в плоскостях, перпендикулярных и параллельных напластованию. Так, угол внутреннего трения при сдвиге перпендикулярно напластованию оказался выше на 15—20%, чем параллельно напластованию.

Учитывая существенную однородность намывных грунтов в пределах прудковой зоны, эффект анизотропии свойств может быть объяснен только изменением микростроения грунтов с глубиной. Для объяснения выявленной анизотропии, а также для изучения характера изменения микростроения намывных грунтов по простиранию и глубине проводились исследования микроструктуры образцов ненарушенного сложения с помощью растрового электронного микроскопа.

Проведенные микроструктурные исследования показали, что у намывных грунтов гидроотвалов наблюдаются закономерные изменения микростроения как по простиранию, так и по глубине. При этом каждой из выделенных зон гидроотвала соответствует свой тип микроструктуры, находящийся в прямом соответствии с гранулометрическим составом грунта и его физико-механическими свойствами.

Для грунтов приоткосной зоны, характеризующихся наиболее грубым (песчаным) составом, присуща типичная скелетная микроструктура

гидроотвала «Свободный»

определения							Натурные определения	
естественная влажность W , %	плотность γ , $\text{г}/\text{см}^3$	объемная масса влажного грунта Δ , $\text{г}/\text{см}^3$	объемная масса твердой фазы $\Delta_{\text{ск}}$, $\text{г}/\text{см}^3$	пористость грунта n , %	сопротивление сдвигу	сопротивление сдвигу (крыльчатка)	C , МПа	ϕ , град
24,2	2,67	1,85	1,53	42,7	0	5°40'	0,005	19°
29,4	2,70	1,88	1,45	44,3	0,02	4°30'	0,03	15°30'
33,0	2,72	1,90	1,43	48,2	0,03	3°	0,035	11°20'

(рис. 3, а), состоящая из полуокатанных кварцевых песчаных и пылеватых зерен, покрытых тонкой пленкой («рубашкой») из глинистых частиц. Песчаные и пылеватые зерна контактируют между собой через «глинистые мостики», образующиеся за счет соприкосновения глинистых «рубашек» зерен. Преобладают открытые изометричные межзерновые поры с диаметром до 10—20 мкм. Связность грунта в основном определяется механическим зацеплением песчаных зерен.

По мере удаления от фронта намыва в грунтах промежуточной зоны увеличивается содержание глинистых частиц (см. табл. 2). Это приводит к формированию более сложной ячеисто-скелетной микроструктуры (рис. 3, б), характеризующейся помимо элементов скелетной микроструктуры наличием между некоторыми песчаными и пылеватыми зернами ячеек, сложенных листообразными микроагрегатами глинистых частиц, контактирующих по типу базис — скол. Помимо крупных изометрических межзерновых пор диаметром до 10—15 мкм присутствуют более мелкие, изометрические, межмикроагрегатные поры — ячейки размером до 5 мкм. Грунту в целом присуща большая пористость и меньшая прочность на сдвиг (см. табл. 2).

В зоне пруда-отстойника, где в спокойных условиях водного бассейна происходило осаждение наиболее тонкодисперсного, глинистого материала, шло формирование ячеистой, реже скелетно-ячеистой микроструктуры. Для грунтов этой зоны характерно присутствие ячеистой структурной сетки (рис. 3, в), состоящей из листообразных микроагрегатов глинистых частиц, контактирующих по типу базис — скол с образованием коагуляционных контактов. Среди ячеек располагаются пылеватые зерна, покрытые глинистыми пленками. Преобладают межмикроагрегатные, открытые поры — ячейки размером до 4—5 мкм. Подобное ажурное микростроение определяет довольно высокую пористость и низкую прочность этих грунтов (см. табл. 2). Для намывных грунтов этой зоны характерны тиксотропные свойства, что объясняется специфическими особенностями микростроения и коагуляционным характером структурных связей.

Для выявления причины появления анизотропии прочности на сдвиг в нижних частях разреза намывных грунтов прудковой зоны гидроотвала «Сагарлыкский» проводилось изучение изменения микростроения в вертикальном разрезе сверху вниз. Исследования показали, что вниз по разрезу происходит существенное изменение микростроения намывных грунтов. Так, для грунтов верхней части разреза характерна сильноупористая, ячеистая микроструктура (рис. 4, а), аналогичная вышеописанной, которая уже на глубине 8 м вследствие уплотнения и некоторого возрастания содержания пылеватой фракции переходит в скелетно-матричную микроструктуру (рис. 4, б), характеризующуюся наличием неориентированной матрицы, сложенной листообразными микроагрегатами глинистых частиц, контактирующими по типу базис — базис и базис — скол. Встречаются многочисленные включения пылеватых и пес-

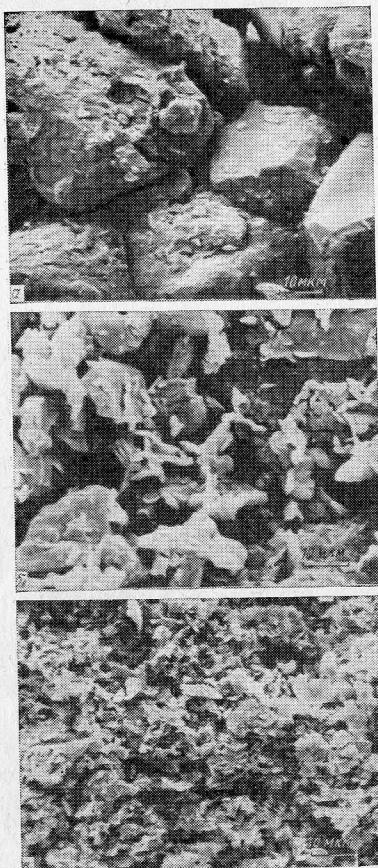


Рис. 3.

Рис. 3. Изменение микростроения намывных глинистых грунтов гидроотвалов по профилю: а — скелетная микроструктура грунта из приоткосной зоны; б — скелетно-стирируемая микроструктура грунта промежуточной зоны; в — ячеистая микроструктура грунта зоны прудка-отстойника

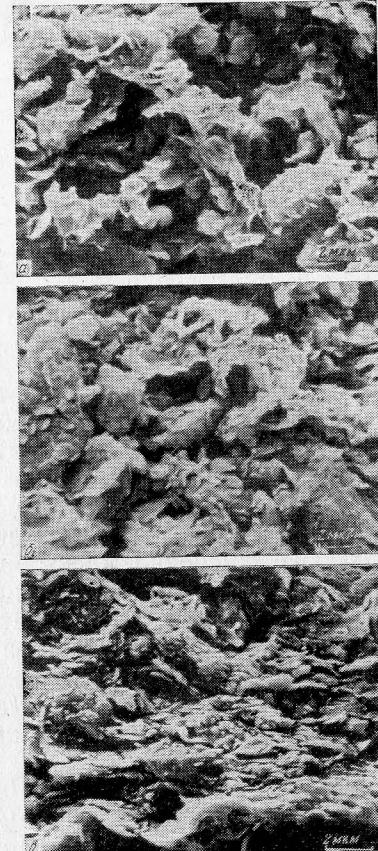


Рис. 4.

Рис. 4. Изменение микростроения намывных глинистых грунтов гидроотвалов по глубине в зоне прудка-отстойника: а — ячеистая микроструктура, глубина 2,0 м; б — скелетно-матричная микроструктура, глубина 8,0 м; в — турбулентная микроструктура, глубина 29,0 м

чаных кварцевых зерен окатанной и полуокатанной формы. Преобладают мелкие изометрические, диаметром до 2 мкм, и щелевидные, шириной до 0,3 мкм, межмикроагрегатные поры, встречаются редкие крупные изометрические межмикроагрегатные зернистые поры с диаметром до 20 мкм. Анизотропия свойств в грунте отсутствует. В нижней части разреза намывной толщи на глубине около 27 м в результате уплотнения и консолидации грунтов формируется турбулентная микроструктура (рис. 4, в), сложенная хорошо ориентированными листообразными микроагрегатами глинистых частиц, облегающими пылеватые зерна и формирующими подобие сплошных изгибающихся микрослоев. Контакты между микроагрегатами — типа базис — базис, в результате чего преобладают щелевидные и удлиненные межмикроагрегатные поры шириной до 0,5 мкм.

Формирование ориентированной турбулентной микроструктуры в данных грунтах, по-видимому, связано, с одной стороны, со специфическими спокойными условиями осадконакопления в прудковой зоне, а с другой — их полной консолидацией на относительно больших глубинах, сопровождающейся разворотом глинистых частиц и их микроагрегатов в

направлении, нормальном к уплотняющей нагрузке. Наличие в нижней части разреза хорошо ориентированной турбулентной микроструктуры объясняет анизотропию прочности на сдвиг в плоскостях, перпендикулярной и параллельной напластованию. В случаях, когда плоскость сдвига перпендикулярна ориентации частиц, происходит дополнительная затраты энергии на разворот частиц, в результате чего прочность в данном направлении оказывается большей, чем при сдвиге по напластованию.

Выводы

- Проведенные исследования показали, что для намывных грунтов гидроотвалов характерна четкая временная и пространственная изменчивость инженерно-геологических свойств, которая объясняется: весьма коротким сроком аккумуляции техногенной глинисто-пылеватой толщи, имеющей значительную мощность; зональным строением массива гидроотвала по мере удаления от фронта намыва; характерным изменением микростроения намывных грунтов по профилю и в пределах прудковой зоны по глубине; возникновением значительного по величине избыточного порового давления в грунтах в процессе их намыва и последующей консолидации.

- Натурные измерения порового давления с последующим определением степени уплотнения намывных грунтов позволяют существенно сократить объемы инженерно-геологических изысканий и повысить достоверность расчетов несущей способности массивов гидроотвалов при проектировании мероприятий по дальнейшему использованию их территории.

- Исследование микростроения намывных грунтов гидроотвалов с помощью растрового электронного микроскопа показало, что по мере удаления от фронта намыва наблюдается трансформация скелетной микроструктуры в ячеисто-скелетную и далее в ячеистую, что сопровождается возрастанием пористости грунта, снижением его прочности и приобретением тиксотропных свойств. Для зоны прудка-отстойника с наиболее спокойными условиями осадконакопления вниз по разрезу характерен переход наименее прочной коагуляционной ячеистой микроструктуры в более плотную и прочную скелетно-матричную и далее за счет полной консолидации тонкодисперсных глинистых грунтов в нижней части толщи в турбулентную микроструктуру, обусловливающую появление сильно ориентированной текстуры глинистого грунта и существенную анизотропию его свойств.

Московский государственный

университет

Геологический факультет

Московский горный институт

Поступила в редакцию
30.XI.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Гальперин А. М. Специальные вопросы инженерной геологии при гидромеханизации открытых разработок. М., Изд-во Моск. горного ин-та, 1974.
Инженерно-геологические условия строительства крупных карьеров в Сибири. Сб. статей. Томск, Изд-во Томского геол. управления, 1973.
Лапочкин Б. К. Специальные инженерно-геологические исследования на гидроотвалах Кузбасса. Тез. докл. Всесоюз. совещ. по изучению и использованию глин и глинистых минералов. Тез. докладов. М., 1977.
Осипов В. И., Соколов В. Н. Подготовка образцов глин для микроструктурных исследований. Матер. XI Всесоюзн. совещ. по изучению и использованию глин и глинистых минералов. Тез. докладов. М., 1976.
Резников Л. М., Богатырев В. П. Добыча угля открытым способом. Кемерово, 1975.
Сергеев Е. М., Грабовская-Ольшевская Б., Осипов В. И., Соколов В. Н. Типы микроструктур глинистых пород. — «Инженерная геология», 1979, № 2.
Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., «Недра», 1975.
Weaver C. E. The Significance of Clay Minerals in Sediments. — In «Fundamental Aspects of Petroleum Geochemistry», Editor Nagy B. and Colombe U., 1967.

ЗИАНГИРОВ Р. С., ЧЕРНЯК Э. Р.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФЕЛИНОВЫХ ПЕСКОВ — ОТВАЛОВ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СВЯЗИ С ИХ СКЛАДИРОВАНИЕМ

В последние годы проблемы улучшения охраны окружающей среды приобретают все более важное народнохозяйственное значение (Сидоренко, 1967; Котлов, 1977, 1978). В числе этих проблем видное место занимают вопросы складирования и использования промышленных отходов, темпы накопления которых достигают угрожающих размеров. Следствием породообразующей деятельности человека является образование отвалов, хвостохранилищ, насыпей, занимающих большие, непрерывно расширяющиеся площади. Использование промышленных отходов как искусственных грунтов сопряжено с трудностями, связанными как со слабой изученностью свойств искусственных грунтов, так и с их специфической особенностью — существенной пространственно-временной изменчивостью состава, строения и свойств.

В СНиП II-15-74 искусственные грунты выделены в самостоятельную группу, в то же время их свойства изучены совершенно недостаточно. Отсутствуют рекомендации по методике их исследования. Естественно, что потребность в подобного рода исследованиях велика и со временем будет возрастать в связи с существенным увеличением объемов искусственных грунтов и со все более настоятельной необходимостью их инженерного освоения.

В качестве примера одного из первых шагов в исследовании искусственных грунтов комплексом полевых и лабораторных методов являются инженерно-геологические изыскания на отвалах отходов апатито-нефелинового производства комбината «Апатит» — крупнейшего в мире производителя апатитового концентратта.

Условия образования хвостохранилища

В процессе обогащения апатито-нефелиновых руд в гигантских масштабах происходит накопление промышленных отходов (хвостов) от тонкопылеватых до песчаных в основном нефелинового состава, ориентировочный объем которых только по одной апатито-нефелиновой обогатительной фабрике должен повыситься. Складирование такого количества промышленных отходов, поступающих с обогатительных фабрик в виде пульпы, становится сложной инженерной задачей. В условиях комбината «Апатит» этот вопрос решается путем сброса хвостов в озеро.

Исследуемое водохранилище расположено к северу от г. Апатиты Мурманской обл. и занимает часть губы Белой, представляющей залив оз. Имандра. Хвостохранилище вытянуто с юга на север и имеет длину до 5 км и ширину до 2 км (рис. 1). В северной части оно отделено от озера дамбой, возведенной в 1968 г. Эта дамба представляет собой ка-

менно-набросную призму из крупнообломочного материала. Запроектированное заложение откоса дамбы в сторону оз. Имандра составляет 1:2, а в сторону чаши хвостохранилища — 1:1,25. Со стороны хвостохранилища откос прикрыт противофильтрационным моренным экраном, упложивающим заложение откоса до 1:3. Длина дамбы — более 1 км, высота от подошвы до гребня — 4—20 м. По проекту дамба ежегодно наращивается на 1,5 м, и к 2000 г. ее максимальная высота достигнет 48 м.

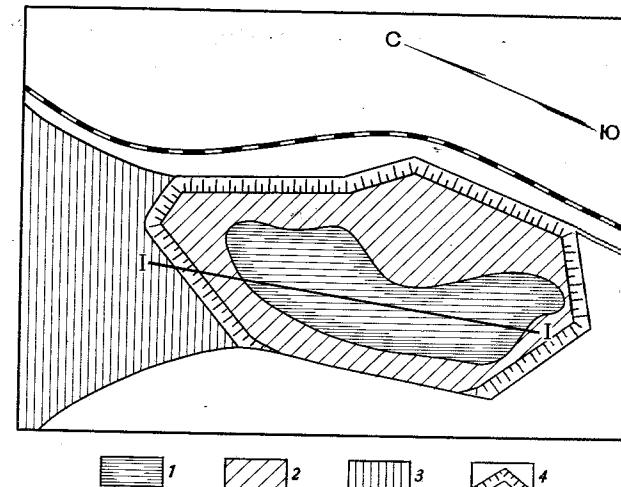


Рис. 1. Схема расположения хвостохранилища: 1 — пруд-накопитель; 2 — пляжевая зона; 3 — губа Белая оз. Имандра; 4 — дамба. В верхней части рисунка приведена роза ветров

Наполнение чаши хвостохранилища осуществляется следующим образом. Хвости апатитовой флотации транспортируются самотеком по двум железобетонным лоткам до здания пульпораспределителя, оттуда поступают в пульпонасосную станцию. Далее с помощью грунтовых насосов пульпа транспортируется на хвостохранилище, где из распределительных пульповодов производится намыв дамбы хвостохранилища.

Условия залегания грунтов в отвалах. Исследуемый массив искусственных грунтов представляет собой толщу намытых песков преимущественно нефелинового состава, ограниченную с севера дамбой обвалования, а с востока и запада — коренными берегами оз. Имандра.

Намывные пески на участке, примыкающем к каменно-набросной части дамбы, имеют мощность 12—13 м. Они представлены мелкими и пылеватыми разновидностями песков, рыхлыми и средней плотности сложения, до глубины 0,5—2,0 м маловлажными, ниже — водонасыщенными. Вблизи оси дамбы в намытой толще преобладают мелкие пески с тонкими прослойками пылеватых разновидностей. По мере удаления от оси дамбы (в сторону пруда-накопителя) крупность песков уменьшается; встречаются прослои пылеватых песков мощностью до 2—3 м. На расстоянии 50—70 м от оси дамбы мелкие пески фациально замещаются пылеватыми, которые слагают нижнюю часть подводного склона. Подводный склон имеет уклоны, которые меняются в зависимости от состава слагающих песков. Средний уклон, который образует мелкие пески, составляет 1:8, что соответствует 8—7°. Пылеватые пески залегают со средним уклоном 1:22, или под углом около 3°. Общая длина подводного склона достигает 150—200 м. Под намывными песками почти повсеместно залегает тонкодисперсный шлам, который визуально представляет собой глинистый грунт светло-серого цвета от

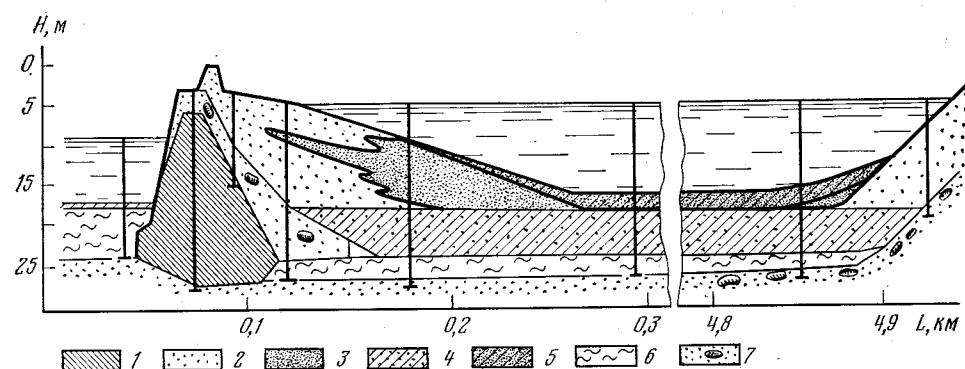


Рис. 2. Геолого-литологический разрез по линии I—I: 1 — каменная наброска; 2 — мелкий нефелиновый песок; 3 — пылеватый нефелиновый песок; 4 — тонкодисперсный шлам; 5 — текучий консистенции; 6 — сапропель; 7 — морена песчаного состава

текуче- (в кровле) до мягкопластичной (в подошве) консистенции, преимущественно однородный, без каких-либо включений. Основанием чаши хвостохранилища служат породы четвертичного возраста, представленные комплексом ледниковых, озерно-ледниковых, озерных и болотных отложений. Геолого-литологическое строение хвостохранилища показано на рис. 2.

Методика проведения инженерно-геологических исследований

Исследование нефелиновых песков и шламов проводилось на пляжевой зоне хвостохранилища, примыкающей к дамбе обвалования, в зоне подводного склона, образованного намытыми хвостами, и на акватории хвостохранилища. В пределах первых двух зон все работы концентрировались на 6 профилях, перпендикулярных к оси дамбы. Исследования условий современного осадконакопления тонкодисперсных шламов в донной части чаши хвостохранилища выполнялись на акватории по сетке 200×200 м. Работы на акватории проводились на катамаране (изготовленном на базе двух лодок «Обь-М») и на пантоне, оборудованном буровой установкой БУКС-ЛГТ.

Рассматриваемые отложения находятся в водонасыщенном состоянии, рыхлом сложении, обладают текучей и текучепластичной консистенцией, местами слаболитифицированы, вследствие чего для их изучения применялись помимо лабораторных и полевые методы исследования. Проводимые исследования кроме бурения включали динамическое, статическое и вибрационное зондирование, испытания грунтов статическими нагрузками штампом, испытание с помощью полевой лаборатории ПЛГ-1,5Р, вращательный срез в скважинах крыльчаткой, опытные наливы в скважины.

Полевая лаборатория ПЛГ-1,5Р использовалась для исследования слабых разновидностей тонкодисперсных шламов и неуплотненных пылеватых песков. Все приборы полевой лаборатории (приспособления для зондирования, вращательного среза, отбора монолитов и др.) выполнены в портативном исполнении, легко переносятся и транспортируются. При зондировании использовались конусные наконечники с углом при вершине 60° и площадью основания конуса 10 см^2 . Динамическое зондирование осуществлялось легким оборудованием (молот массой 20 кг, высота падения 40 см). Статическое зондирование выполнялось с помощью задавливающей установки УЗП-1,5Р совмещенными штангами ШТ 22/36 с разделенным измерением лобового и бокового сопро-

тивлений при помощи измерителя ИС-4, на котором установлены две упругие пластины с двумя индикаторами часового типа. Вращательный срез выполнялся с помощью сдвигомера-крыльчатки СК-10 с высотой четырехлопастного наконечника 100 мм и диаметром 75 мм. Для установления возможности разделного определения показателей прочности развитых на площадке слабых грунтов по данным вращательного среза были выполнены специальные испытания для сопоставления результатов, полученных полевыми и лабораторными методами.

Динамическое зондирование установкой УБП-15М производилось для расчленения визуально однородной толщи нефелиновых песков на слои и оценки их плотности и модуля деформации на основе корреляционных зависимостей, устанавливаемых в ходе исследований.

Статическое зондирование установкой СП-59 на самоходном шасси Т-16М производилось главным образом для оценки свойств водонасыщенных пылеватых песков, а также для выявления прослоек грунтов, склонных к разжижению. В процессе изысканий производилась отработка технологии зондирования на песках нефелинового состава. Исследовалось влияние скорости зондирования и трения грунтозащитной муфты на получаемые результаты. Установлено, что скорость зондирования $V = 1,5 - 2,0 \text{ м/мин}$ является оптимальной для получения наиболее устойчивых показателей зондирования. Для приведения данных зондирования к нормативной скорости $V = 0,5 \text{ м/мин}$ (регламентируемой СН 448—72) следует применять коэффициент K_v , который для нефелиновых песков составляет 1,5—2,0. Увеличение скорости зондирования по сравнению со стандартной позволяет повысить производительность зондирования. На основе сопоставительных испытаний с грунтозащитной муфтой и без нее был получен коэффициент ($K_v = 0,315$), позволяющий устранить влияние муфты на результаты зондирования нефелиновых песков.

Вибрационное зондирование производилось установкой с вибратором ИВ-19 (частота оборотов — 2300 об/мин, возмущающая сила — 125—200 кг), установленным на площадке, к которой крепится колонна штанг. Использовался конус площадью 10 см^2 с углом заострения 60° . Результаты зондирования использовались для расчленения разреза на слои, а также для оценки прочностных и деформационных свойств песков (Ребрик, 1976).

Испытание статическими нагрузками штампов производилось с помощью оборудования, сконструированного и изготовленного в ПНИИИСе. Исследование производилось штампом распорным безанкерным. В отличие от существующих установок, разработанная конструкция обладает рядом преимуществ, которые существенно снижают трудоемкость штамповых испытаний. Установка не требует специальной анкеровки, имеет малый вес, быстро монтируется одним-двумя исполнителями и обеспечивает получение результатов дважды. Последняя особенность штампа может служить надежным контролем за качеством работ в ходе изысканий и дает возможность исключения грубых ошибок и аномальных нетипичных результатов.

Выбор установки такого типа помимо соображений о ее экономической эффективности был обусловлен грунтовыми условиями исследуемого объекта. Известно, что величина модуля деформации решающим образом зависит от свойств тонкого слоя грунта, примыкающего к штампу. По данным ряда авторов (например, Голли, 1975), до 80% осадки происходит в слое мощностью 10—15 см. Исследуемые намывные грунты представляют собой слоистые образования, представленные тонким переслаиванием песка различной крупности с прослойями тонкодисперсных шламов, образующихся в застойных понижениях. Применяемый штамп распорной конструкции позволил получить обобщенную характеристику сжимаемости грунтов. Испытания проводились по уско-

ренной методике. Исследованиями песчаных грунтов (Черняк, 1976а) установлено, что при их испытаниях статическими нагрузками время стабилизации осадки существенно изменяется в зависимости от фазы напряжения. В фазе уплотнения доля мгновенных деформаций в плотных песках составляет 77—84%. В фазе сдвигов начинают развиваться пластические зоны, и эта величина снижается до 52—84%. В дальнейшем с ростом напряжений и потерей основанием устойчивости эта величина падает до 21—37%, в то время как большая часть осадок развивается во времени. Указанные закономерности в меньшей степени проявляются в рыхлых песках, деформирование которых не сопровождается наступлением ярко выраженного предельного состояния.

В связи с тем, что расчет модулей деформации производится для фазы уплотнения, была принята ускоренная методика испытаний. За условную стабилизацию осадки в этом случае принимается приращение осадки штампа, не превышающее 0,1 мм за время: для песков любой крупности и степени влажности (кроме пылеватых водонасыщенных) — 10 мин; для пылеватых водонасыщенных песков — 20 мин.

Определение водопроницаемости методом налива «тяжелой жидкости» заключается в вытеснении из скважины в грунт жидкости, в качестве которой может применяться, например, соляной раствор. При наливе в скважину насыщенного соляного раствора или растворения непосредственно в полости скважины хлористого натрия плотность жидкости в ней оказывается больше плотности грунтовой воды. В связи с этим появляется избыточное гидростатическое давление, под действием которого раствор из скважины вытекает в окружающий грунт. Поскольку процесс опускания уровня связан с проницаемостью грунта, то он и характеризует коэффициент фильтрации. Описанный метод особенно целесообразен в условиях близкого от поверхности земли расположения уровня грунтовых вод, когда условия создания дополнительного напора при обычном наливе воды в скважину ограничены. При наливе «тяжелой жидкости» необходимый дополнительный напор создается повышением плотности воды (раствора) в скважине.

Лабораторные испытания и исследования выполнялись с целью определения показателей состава, состояния и физико-механических свойств грунтов, развитых на объекте изысканий. Они включали в себя определения гранулометрического состава (комбинированный метод), минерального состава, химического состава водной вытяжки, влажности (весовой метод), объемной массы грунта (метод режущих колец), плотности (удельного веса), показателей прочности (для песков — по схеме быстрого сдвига, для слабых грунтов — по схеме медленного и быстрого сдвига), сжимаемости (компрессионные испытания), водопроницаемости (в трубках СПЕЦГЕО).

Величина сцепления песков, определяемая путем стандартных сдвиговых испытаний, уточнялась с помощью испытаний на разрыв (Черняк, 1976б). Эти испытания проводились в соответствии с указаниями В. В. Охотина и Г. Ф. Богданова (1950) и Н. А. Цытовича (1951).

Для измерения удельного сцепления песка был изготовлен разрывной прибор, представляющий собой разъемную гильзу, состоящую из двух соосно расположенных цилиндров. Гильза служит для отбора образцов и для испытания на разрыв. Роль захватов,держивающих песок в цилиндрах при разрыве, играют силы трения образца о стенки этих цилиндров. Прибор позволяет проводить испытания непосредственно в полевых условиях, что сводит к минимуму нарушение присущих пескам хрупких структурных связей. Все необходимые лабораторные испытания (определения влажности, компрессионные и сдвиговые испытания) выполнялись в экспедиционных условиях.

Исследуемые грунты — отходы апатито-нефелинового производства — представляют собой искусственные грунты, относительно которых

в нормативных документах отсутствуют рекомендации по методике проведения и интерпретации результатов исследований. Например, в «Указаниях по зондированию» использование таблиц для оценки физико-механических свойств песчаных грунтов по данным динамического и статического зондирования допустимо лишь в случае исследования природных песков кварцевого состава. Естественно, что применение указанных рекомендаций для определения свойств песков преимущественно нефелинового состава, представляющих собой продукт искусственного дробления горных пород, требует специального обоснования и корректировки.

В связи с этим работы на объекте проводились в четыре этапа. На первом этапе выполнялись специальные методические исследования по выявлению возможностей и технологических особенностей использования тех или иных полевых методов применительно к конкретным грунтовым условиям. На втором этапе по данным опорного бурения и зондирования исследуемая толща расчленялась на инженерно-геологические элементы. Третий этап включал установление корреляционных зависимостей между результатами испытаний, выполненных различными методами. И, наконец, на четвертом этапе проводились детальные исследования на ключевых участках.

Состав, структура и свойства нефелиновых песков

Гранулометрический состав основных разновидностей нефелиновых грунтов приведен в табл. 1. В составе каждой из рассматриваемых разновидностей выделяется 1—2 фракции, в которых концентрируется более половины частиц, что характеризует пески как однородные. Отмечается малое содержание коллоидной и глинистой фракций в мелких песках. Оно не превышает 0,5—1,0%. В пылеватых песках эта величина повышается до 2%. Отмытая тонкая фракция попадает в пруд-отстойник и накапливается в тонкодисперсных шламах. Состав так называемых «старых» шламов, залегающих в подошве намытой толщи, почти наполовину представлен частицами размером менее 5 мкм. Молодые шламы, которые сбрасываются в настоящее время в хрестохранилище вместе с песком, более грубые по составу. Они сложены в основном тонкопесчаными и пылеватыми частицами, в то время как на долю глинистых частиц приходится в среднем 6—7%.

В процессе формирования отвалов происходит фракционирование нефелиновых песков на пляжевой зоне гидроотвала (рис. 3). Каждая точка на графике представляет собой обобщенную характеристику среднего диаметра частиц грунта в пределах 3-метрового слоя. Четко прослеживаются две основные тенденции: уменьшение крупности отложений по мере удаления от оси пульпопровода и уменьшение крупности с глубиной. Важно подчеркнуть при этом, что содержание фракций размером <5 мкм невелико и сохраняется практически неизменным на всем протяжении исследованной полосы. Если у оси дамбы величина этого показателя составляет в среднем для всей толщи 0,85%, то на расстоянии 100, 200 и 300 м она равна соответственно 0,90, 0,90 и 1,00%, т. е. изменяется всего на 0,15%. Это свидетельствует о том, что тонкодисперсная фракция почти не задерживается на пляжевой зоне и переходит в пруд-отстойник, где оседает в виде шлама.

В минеральном составе исследуемых пород преобладает нефелин (табл. 2). Его содержание колеблется от 50 до 63%, составляя в среднем 56%. Содержание эгирина составляет 16% (диапазон колебания процентного содержания — 11—20%). Полевые шпаты содержатся в количестве от 5 до 13% (в среднем 8%), апатит — в среднем 5% (от 2,3 до 7,1%), гидрослюды — в среднем 3% (от 2 до 5%). Остальные минералы занимают подчиненное положение.

Таблица 1

Гранулометрический состав искусственных грунтов нефелинового состава

Наименование	Размер частиц (мм) и их содержание (%)								Коэффициент неоднородности $K = d_{50}/d_{10}$
	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	
Песок мелкий	2,0	26,0	51,3	18,5	1,2	0,3	0,6	0,1	2,4
Песок пылеватый	0,5	5,3	47,8	35,7	7,7	1,1	1,4	0,5	3,6
Шлам тонкодисперсный (в кровле слоя)	—	—	—	43,8	42,4	6,6	6,6	0,6	4,5
Шлам тонкодисперсный (в подошве слоя)	0,2	0,4	1,4	13,5	20,0	16,61	37,8	10,1	80,0

В соответствии с изменением крупности песков на пляжевой зоне изменяется их минеральный состав. С глубиной уменьшается количество апатита с 6—8% (на глубине 5—7 м) до 2—4% (9—12 м). Содержание полевого шпата, который концентрируется в более мелких фракциях, увеличивается с 6—7 до 12—13%. Процентное содержание нефелина и эгирина меняется мало и колеблется в пределах соответственно 50—60 и 13—20%.

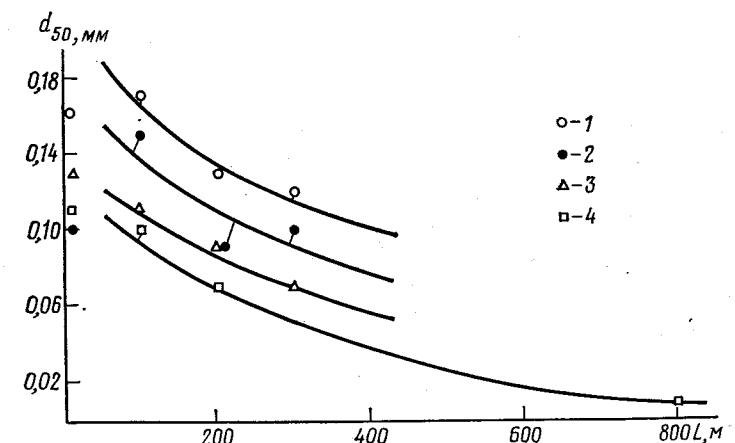


Рис. 3. Зависимость крупности намытых грунтов от расстояния до места выброса пульпы (L). 1—4 — для глубин (м) соответственно 4—6, 7—9, 10—12, 13—15

Интересно сопоставить полученные данные с результатами химического анализа слива в хвостохранилище. Если в составе слива (за период с 24.VI.1975 г. по 25.II.1976 г.) количество сухого остатка составляло 156 мг/л, ионов Cl' — 4,65 мг/л и $\text{SO}_4^{''}$ — 57,5 мг/л, то в водных вытяжках, полученных из грунтов, слагающих дамбу, содержание вышеуказанных компонентов составляет соответственно 35,2; 0,76 и 4,65 мг/л, т. е. снизилось в 5—12 раз. Величина pH в водных вытяжках составляет в среднем 8,5 против 7,5 в сливке (табл. 3). Наблюдается значительное увеличение концентрации всех легкорастворимых солей с глубиной. Их содержание постепенно возрастает от кровли к подошве слоя в 2—4 раза.

Морфологические исследования включали определение показателей округленности α , сферичности β и морфологии λ по специальной методике (Потапов, 1977). Получена количественная характеристика формы зерен этих искусственных грунтов (табл. 4). В соответствии с условиями их образования преобладающими являются частицы необработан-

Таблица 2

Минеральный состав намытых грунтов в зависимости от их дисперсности

Наименование	Содержание, %		
	пески пылеватые	пески мелкие	шлам тонкодисперсный
Нефелин	64,4	60,0	72,0
Эгирин	16,0	18,6	4,1
Полевые шпаты	10,2	7,4	1,5
Апатит	3,2	7,1	15,3
Гидрослюдя	4,0	3,6	5,8
Сфен	2,2	3,3	1,3

Таблица 3

Химический состав водных вытяжек намытых грунтов в зависимости от их дисперсности

Наименование	рН	Содержание компонентов, мг/л						Щелочность, мг-экв/л
		Cl'	$\text{SO}_4^{''}$	сухой остаток	$\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$	Na^+	K^+	
Песок мелкий	8,30	0,46	2,28	19,4	1,01	5,06	2,95	0,19
Песок пылеватый	8,43	0,77	4,87	36,5	1,35	8,08	5,23	0,29
Шлам тонкодисперсный	8,60	1,26	7,98	70,40	2,64	15,03	9,19	0,58

Таблица 4

Результаты морфометрических исследований нефелиновых песков

Размер фракции, мм	Содержание фракции, %	Показатель морфологии λ	Коэффициент округленности α	Коэффициент сферичности β	Характеристика по морфологии		
					по λ	по α	по β
10—5	0,1	—	—	—	—	—	—
5—2	0,41	—	—	—	—	—	—
2—1	1,83	0,474	0,48	0,879	Слабо обработанные	Слабо окатанные	Малосферичные
1—0,5	4,23	0,322	0,258	0,654	Почти необработанные	Незначительно угловатые	Несферичные
0,5—0,25	42,98	0,319	0,242	0,661	То же	Угловатые	»
<0,25—0,1	36,5	0,282	0,183	0,574	Необработанные	»	Весьма несферичные
0,1	13,95	0,181	0,085	0,076	Весьма необработанные	Весьма угловатые	Тоже
В среднем	По навеске	0,289	0,203	0,552	Необработанные	Угловатые	Весьма несферичные

ные, угловатые, весьма несферичные с бугристой, крупноячайкой поверхностью, что предопределило большое внутреннее трение нефелиновых песков.

Влажность песков увеличивается от 4—6% выше уровня подземных вод до 21—26% — ниже этого уровня. Для пылеватых песков, которые находятся преимущественно в водонасыщенном состоянии, влажность изменяется от 24 до 45%, составляя в среднем 33%. Коэффициент вариации по влажности песков составляет 0,12—0,46, что указывает на высокую изменчивость этого показателя. Это связано, по-видимому, со значительной неоднородностью гранулометрического состава намытых песков за счет их слоистости.

Объемная масса мелких песков меняется от 1,40 до 1,78 г/см³, составляя в среднем 1,60 и 1,66 соответственно для песков, залегающих выше и ниже уровня подземных вод. Для пылеватых песков $\gamma_0 =$

$\gamma = 1,85 \text{ г/см}^3$ и изменяется в пределах от 1,78 до 2,0 г/см^3 . Коэффициент пористости исследованных разновидностей песков в среднем превышает 0,8, что характеризует их как рыхлые (СНиП II-15-74).

Для оценки плотности сложения залегающих ниже уровня грунтовых вод песков, отбор монолитов из которых практически невозможен, использовались результаты зондирования. На основе корреляционной

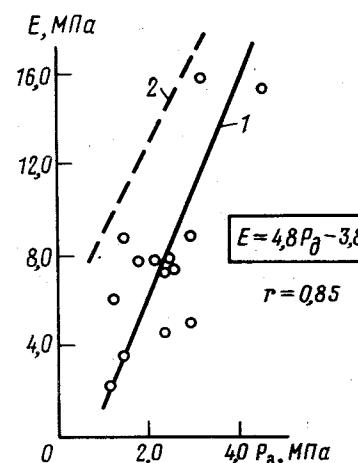


Рис. 4. Зависимость между динамическим сопротивлением зондирования (P_d) и модулем деформации (E) мелких нефелиновых песков: 1 — по экспериментальным данным; 2 — по таблице СН 448-72

зависимости, полученной между объемной массой скелета грунта и его динамическим сопротивлением, $\delta_{\text{ск}} = 0,034 P_d + 1,41$ (коэффициент корреляции $r = 0,89$) было установлено, что мелкие пески, залегающие на глубине 10,8—12,4 м, характеризуются средней плотностью сложения (коэффициент пористости $e = 0,69$).

По деформационным свойствам наиболее сжимаемыми являются шламы. Их модуль деформации, по данным компрессионных испытаний, составляет 1,1 МПа в диапазоне нагрузок $P = 0$ —0,2 МПа. Намытые пески характеризуются относительно высокими значениями модулей деформации, которые изменяются от 10,7 до 12,0 МПа, в зависимости от положения относительно уровня подземных вод.

Определение модуля деформации мелких песков, залегающих ниже уровня грунтовых вод, было выполнено на основе корреляционных зависимостей, установленных между результатами штамповочных испытаний и динамического зондирования: $E = 4,8 P_d - 3,8$; $r = 0,85$ (для мало-влажных песков); $E = 7,2 P_d - 4,4$; $r = 0,95$ (для водонасыщенных песков).

Полученные зависимости позволяют оценить плотность сложения и сжимаемость песков в пределах всего разреза без отбора образцов. Величина E на глубине 6,0—10,8 составляет 18,0 МПа, а в подошве слоя (10,8—12,4 м) повышается до 57,0 МПа, что объясняется уплотнением и упрочнением намытых песков во времени. На рис. 4 наряду с графиком, построенным по экспериментальным данным, приведен график, составленный по табл. 13 СН 448-72. Можно видеть, что использование СН 448-72 привело бы к существенному искажению величины сжимаемости исследуемых песков. Модуль деформации пылеватых песков оценивается по данным статического зондирования, так как применение для этой цели динамического зондирования не допускается указаниями СН 448-72, а отбор монолитов из водонасыщенных рыхлых пылеватых песков — задача практически невыполнимая. Средневзвешенное значение статического сопротивления ($P_{\text{ск}}$) этих грунтов равняется 0,9 МПа. С учетом полученных нами коэффициентов, учитывающих влияние грунтозащитной муфты и скорость зондирования ($V = 1,5 \text{ м/с}$), величина E рыхлых пылеватых песков составляет 1,2 МПа.

Прочностные характеристики исследуемых грунтов получены на основе комплекса полевых и лабораторных испытаний. Стандартные сдвиговые испытания дополнялись испытаниями на разрыв, результаты которых учтены при установлении расчетных характеристик. Наряду с этим широко использовались исследования методом вращательного среза, который применялся при испытаниях тонкодисперсных шламов.

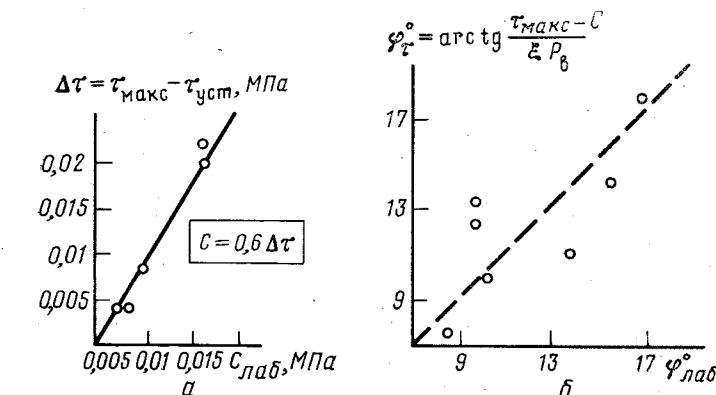


Рис. 5. Сопоставление результатов лабораторных сдвиговых испытаний и данных вращательного среза по определению сцепления (а) и угла внутреннего трения (б)

По данным вращательного среза (рис. 5) была установлена эмпирическая зависимость для определения сцепления $c = 0,6 \Delta \tau$, где $\Delta \tau$ — разность между максимальным и установившимся сопротивлением вращательному срезу. На основе этой зависимости в соответствии с законом Кулона, принимая во внимание коэффициент бокового давления (ξ), была получена формула для расчета угла внутреннего трения (см. рис. 5, б)

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{0,4 \tau_{\max} + 0,6 \tau_{\text{уст}}}{P_v \xi},$$

где P_v — природное давление на глубине испытаний с учетом взвешивающего влияния воды. Показатели прочностных свойств исследованных грунтов приведены в табл. 5.

Сопоставление результатов полевых и лабораторных исследований показывает их удовлетворительную сходимость.

Закономерности изменения свойств нефелиновых песков в массиве. Приведенные данные о свойствах нефелиновых песков дают их осредненную характеристику. Вместе с тем, при формировании хрестохранилища происходит фракционирование намываемых грунтов по составу, что проявляется в образовании слоистой толщи и в постепенном уменьшении крупности песков по направлению к пруду-отстойнику.

Изменение состава намытых песков вызывает соответствующие изменения их физико-механических свойств. Исследования характера этих изменений в массиве проводились зондировочными методами, так как показатели зондирования являются интегральными характеристиками, зависящими от состава, структуры и текстуры грунтов. Рисунок 6, составленный по данным зондирования до глубины 3—5 м, дает наглядное представление об этих изменениях. Результаты зондирования позволяют оценить снижение показателей механических свойств грунтов по мере удаления от оси пульпопровода. Важно подчеркнуть, что на одно и то же объективно существующее снижение характеристик механиче-

Таблица 5
Показатели прочностных свойств намытых нефелиновых грунтов по данным полевых и лабораторных испытаний

Наименование	Полевые испытания методом вращательного среза		Лабораторные испытания на сдвиг		Лабораторные испытания на разрыв c , МГ.а
	$c = \Delta\tau \cdot 0,6$, МПа	$\phi = \arctg \times \frac{\tau_{\max} - c}{P_B}$, град	c , МПа	ϕ , град	
Песок мелкий мало-влажный	—	—	0,00	39,0	0,00
Песок мелкий водонасыщенный	—	—	0,014	33,0	0,002
Шлам тонкодисперсный (в кровле слоя)	0,0024	7,5	0,0035	8,5	—
Шлам тонкодисперсный (в подошве слоя)	0,0048	11,0	0,005	14,0	—

Свойства нефелиновых песков различные методы зондирования реагируют по-разному. Наибольшее падение сопротивления фиксируется при вибрационном зондировании, наименьшее — при динамическом, статическое зондирование занимает промежуточное положение. Это обстоятельство следует учитывать при разработке рекомендаций по определению физико-механических свойств нефелиновых песков полевыми методами.

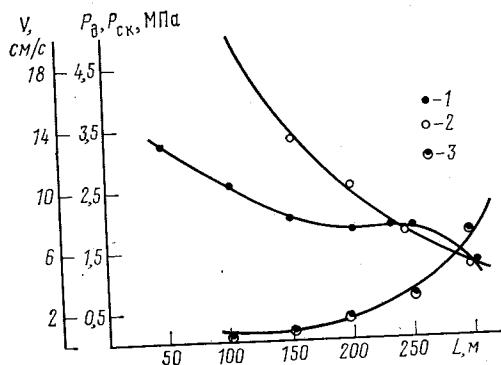


Рис. 6. Зависимость динамического (P_d), статического (P_{sk}) и скорости виброзондирования сопротивления зондированию и скорости виброзондирования (V) от глубины зондирования (L). 1 — V , 2 — P_{sk} , 3 — P_d

Испытание грунтов в массиве позволило по данным динамического зондирования расчленить визуально однородную по глубине толщу на четыре слоя, различающихся плотностью и механическими свойствами слагающих их грунтов. На рис. 7 надежность расчленения разреза определяется графоаналитическим путем. При расчленении двух выборочных совокупностей, отвечающих показателям зондирования двух соседних по глубине слоев, кривые распределения каждого из них наносятся на общий график. Площадь перекрытия эпюра в долях общего площади $U = 1 - f/F$, где F — вся площадь графиков, f — площадь перекрытия. Как видно из рисунка, уровень надежности определения границ между слоями 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 составляет соответственно 75, 85 и 80%. Одно-

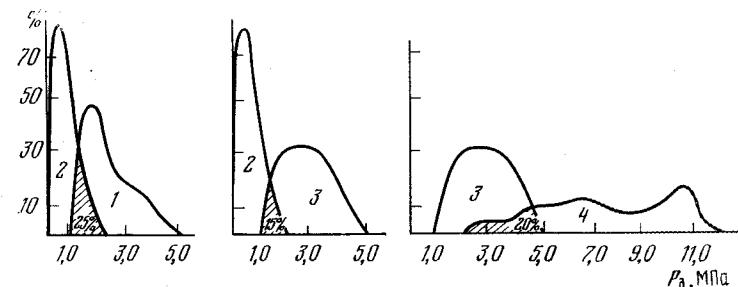


Рис. 7. Определение уровня надежности расчленения намытой толщи на слои по данным динамического зондирования. Цифры обозначают номера слоев

временно можно видеть, что кривая, отвечающая слою 4, двумодельна. Это свидетельствует о неоднородности породы и наличии более прочных прослоев.

Выводы

1. Разработана и опробована на практике комплексная методика исследования инженерно-геологических свойств нефелиновых песков. Установлено, что исследованные искусственные грунты обладают специфическими свойствами, что не позволяет применять к ним рекомендации, изложенные в существующих нормативных документах для естественных грунтов, без существенной корректировки.

2. Выявлены зависимости между результатами исследования нефелиновых песков комплексом полевых и лабораторных методов. Использование полученных зависимостей позволило расчленить исследуемую толщу на инженерно-геологические элементы и оценить прочностные и деформационные свойства исследуемых грунтов в массиве и в пределах водонасыщенной толщи мощностью до 20 м.

3. Установлены закономерности фракционирования нефелиновых грунтов в пределах намытой толщи. Выявлен характер изменения состава нефелинового песка с глубиной и в зависимости от расстояния до места выброса пульпы, а также соответствующие этому изменения свойств песков, оцененные по данным зондирования.

Производственный научно-исследовательский институт инженерных изысканий в строительстве Госстроя СССР

Поступила в редакцию 2.II.1979 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Голли А. В. Об учете концентрации деформаций в контактном слое. — В сб.: Механика грунтов. Основания и фундаменты, № 98 (1). Л., 1975.
 Котлов Ф. В. Антропогенные геологические процессы и явления на территории города. М., «Недра», 1977.
 Котлов Ф. В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М., «Недра», 1978.
 Охотин В. В., Богданов Г. Ф. К методике определения трения и сцепления в песках. — Уч. зап. ЛГУ. Сер. геол., вып. 1, 1950, № 102.
 Потапов А. Д. Влияние морфологии зерен песков различного генезиса на их свойства. — В сб.: Вопросы инженерной геологии, МИСИ, 1977, № 145.
 Ребрик Б. М., Лукошков Г. В., Вишневский В. Ф., Тычина Н. И., Куник Л. И. О точности оценки модуля деформации песчаных грунтов при ударно-вибрационном зондировании. — В сб.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 6(47). М., 1976.
 Сидоренко А. В. Человек, техника, земля. М., «Недра», 1967.
 Указания по зондированию грунтов для строительства. СН 448-72. М., Стройиздат, 1973.
 Цытович Н. А. Механика грунтов. М.—Л., Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1951.
 Черняк Э. Р. Совершенствование методики штамповых испытаний. — В сб.: Полевые методы в инженерной геологии. Киев, «Знание», 1976а.
 Черняк Э. Р. Определение сцепления песков методом разрыва. — В сб.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 6(47). М., ЦНИИС, 1976б.

РАЦ М. В., ИВАНОВА Н. Б., РУСИН Г. Л., СЛЕПЦОВ Б. Г.

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ
(АСОД) ПО ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД
ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ**

Введение

Определяющая роль трещиноватости в формировании инженерно-геологических свойств скальных массивов как среды и оснований инженерных сооружений является общепризнанной. С расширением в 60-х годах строительства (в особенности гидротехнического и подземного) в областях развития скальных пород задача оценки инженерно-геологических свойств трещиноватых массивов стала особенно актуальной. К настоящему времени сформировались три основных группы методов, направленных на решение этой задачи:

1. Крупномасштабные натурные испытания пород в массиве нагрузками на опытные штампы, опытными откачками и т. п. с интерполяцией получаемых значений показателей.

2. Геофизические методы оценки свойств массива с использованием всякого рода корреляционных зависимостей и кривых масштабных эффектов.

3. Расчетные методы, позволяющие определить свойства массива, основываясь на свойствах породы как материала и структуре сети трещин, разбивающих массив и играющих роль как бы «антиконструкции».

Все эти направления исследований имеют, естественно, свои положительные и отрицательные стороны и рассматриваются нами не как конкурирующие, а как взаимно дополняющие.

Настоящая работа подытоживает исследования Лаборатории математических методов ПНИИСа по третьему из указанных направлений, выполненные в течение 70-х годов. В связи с этим уместен краткий экскурс в историю вопроса.

До начала 50-х годов исследования трещиноватости для инженерно-геологических целей производились общегеологическими методами и носили по преимуществу качественный характер. В начале 50-х годов в СССР трудами главным образом Л. И. Нейштадт (1953) и Н. И. Кригерса (1951) началась разработка специальных методов изучения и оценки трещиноватости для гидрогеологических и инженерно-геологических целей, связанных с интегральными количественными характеристиками сети трещин. Использовавшиеся при этом показатели (модуль трещиноватости и чаще коэффициент трещинной пустотности) давали представление об интенсивности развития трещин и позволяли, в частности, производить районирование массива. Однако оценка инженерно-геологических свойств массива по таким данным была невозможна.

В те же годы в рамках подземной гидродинамики и механики горных пород началась разработка методов расчета фильтрационных (Ломизе, 1951; Ромм, 1966), а затем и деформационных (Зеленский, 1967; Руппенейт, 1975) свойств массивов по параметрам трещиноватости, продолжающаяся и в настоящее время.

Эти исследования инициировали разработку нового подхода к методике изучения трещиноватости горных пород в инженерной геологии, реализовавшегося в публикациях М. В. Раца (1962, 1963) и суммированного позднее в книге М. В. Раца и С. Н. Чернышева (1970) и в методических рекомендациях (Рекомендации по изучению трещиноватости, 1974). В этих работах были сформулированы основные положения расчетных методов, в которых свойства массива оцениваются как функция свойств пород и структуры сети трещин. Дальнейшие исследования в этом направлении, выполнявшиеся в рамках инженерной геологии главным образом Лабораторией математических методов ПНИИСа в сотрудничестве со Средазгидропроектом, позволили в значительной мере алгоритмизировать и автоматизировать весьма трудоемкий процесс камеральной обработки полевых материалов, включающих массовые измерения параметров трещиноватости. В этих исследованиях помимо авторов настоящей статьи принимали активное участие С. Н. Чернышев, М. И. Погребиский (ПНИИС), А. В. Количко (Средазгидропроект).

К настоящему времени авторам удалось разработать и представить в виде комплекса алгоритмов и программ для ЭВМ «Наира-2» расчетные методы выделения систем трещин, оценки пустотности, блочности, проницаемости и деформируемости трещиноватых массивов. Важнейший алгоритм выделения систем трещин приводится в этой статье впервые. Другие алгоритмы и программы подверглись более или менее существенной корректировке и доработке. Предлагаемая методика автоматизированной обработки данных апробирована на практике частично на ряде объектов изысканий ПНИИСа и Гидропроекта, а полностью — при изысканиях на Рогунской ГЭС, и может быть рекомендована к широкому внедрению во всех заинтересованных организациях.

Несколько известно авторам, предлагаемая система автоматизированной обработки данных по трещиноватости для инженерно-геологических целей является первой такой системой в мировой практике. На вход системы поступают непосредственно результаты массовых полевых измерений трещиноватости (углы и азимуты падения трещин, данные об их густоте, раскрытии и заполнении) и дополнительные сведения о шероховатости стенок и о свойствах пород массива (модуль деформации) и заполнителя трещин (водопроницаемость). На выходе получаются данные о числе и ориентировке систем трещин, объемной трещинной пустотности и блочности массива, а также оценки его деформируемости и водопроницаемости. В дальнейшем система может модифицироваться как путем совершенствования используемых алгоритмов, так и путем включения новых (в частности, для оценки прочности массива).

Выделение и исследование систем трещин

Системность пространственной сети трещин является, как правило, одной из основных особенностей трещиноватости массивов горных пород. Наличие систем тесно связано с физическими процессами растягивания; системность трещин имеет первостепенную важность для оценки инженерно-геологических свойств скальных массивов. Поэтому выделение систем трещин и вычисление обобщенных значений их параметров составляет первый этап обработки данных по трещиноватости.

Приступая к изучению трещиноватости на обнажении или в подземной выработке, исследователь часто визуально выделяет несколько систем трещин, после чего документирует трещины отдельно по каждой системе. Очевидно, такой способ документации трещиноватости не свободен от субъективизма, который может оказаться как на полноте информации о трещиноватости, так и на качестве ее анализа. Другой прием заключается в том, что сперва производятся массовые измерения

ориентировки трещин, затем тут же на обнажении строится диаграмма трещиноватости, на ней выделяются системы и уже после этого проводятся замеры густоты и ширины трещин. Для этого требуются дополнительные затраты времени на построение диаграмм и выделение систем, что является чисто механическим процессом, который можно переложить на ЭВМ.

Указанных недостатков лишен третий методический прием, предложенный А. В. Количко еще в 60-х годах для документации трещиноватости на стенах штолен и получивший наименование метода «ломаной линии» (Количко, 1977). Платой за простоту полевых измерений по этой методике является резкое усложнение камеральной обработки данных, которое, несущественно при использовании для этой цели ЭВМ. Сущность этого метода заключается в том, что на стенку штольни условно наносится ломаная линия, составленная из боковых сторон конгруэнтных равнобедренных треугольников, которые поставлены основаниями на общую прямую, параллельную полу штольни, вплотную друг к другу; прикладывая к звеньям ломаной мерную рейку, исследователь последовательно фиксирует все трещины, след которых пересекает ломаную, и осуществляет измерение их параметров. Результаты сводятся в специальный полевой журнал, в котором наряду с привязкой конкретной трещины (номер звена ломаной, которое она пересекает, и отметка точки пересечения на рейке) указываются все ее параметры: азимут (α) и угол (β) падения, раскрытие (b), длина (l), а также характер стенок трещины и тип заполнителя. Регулируя длину звеньев ломаной (l_n) и угол их наклона (α_n), можно добиться практически стопроцентной документации видимых трещин. При этом вся тяжесть задачи выделения и исследования систем трещин ложится на камеральную обработку, которая, как упоминалось выше, становится достаточно трудоемкой и нуждается в автоматизации. Относительно самостоятельным объектом изучения трещиноватости является «интервал» стенки штольни. Выбор интервалов обусловлен в основном двумя факторами. Во-первых, интервалы должны находиться в пределах скальных массивов, однородных в первом приближении по петрографическим особенностям и степени сохранности. Практически это означает, что внутри интервалов не должно быть стратиграфических и основных литологических границ, а также зон разломов. Во-вторых, количество трещин на интервале должно быть достаточным для статистического анализа (как правило, 100–200 трещин). В зависимости от геологического строения массива и степени его трещиноватости длина интервала обычно колеблется от нескольких метров до десятков метров.

Процедура выделения систем трещин, разработанная Б. Г. Слепцовым и положенная в основу автоматизированной обработки данных, в известной степени моделирует построение и анализ структурных диаграмм трещиноватости (Вистелиус, 1958), которые обычно проводятся вручную при камеральной обработке полевых журналов. Решение задачи достигается путем использования статистических критериев классификации наблюдений, а также полуэмпирических моментов, заменяющих визуальный анализ диаграмм.

Как известно, всякому множеству трещин (имея в виду их ориентировку) можно взаимно однозначно сопоставить множество точек на полусфере единичного радиуса. Эти точки являются концами единичных радиус-векторов нормалей к трещинам. Параметры ориентации трещин, таким образом, соответствуют сферическим координатам точек: азимуты падения — долготе, а угол падения — полярному расстоянию. Задача выделения систем трещин сводится к статистической задаче отыскания скоплений (таксонов, кластеров) точек на полусфере и последующей классификации отдельных точек по выделенным таксонам.

В ситуации, когда нам заранее неизвестны не только параметры систем, но и их количество, необходимо предварительно исследовать рас-

пределение точек по площади полусферы с помощью гистограммы. Удобной основой для построения гистограммы является трафарет Брайча (сокращенно ТБ), с помощью которого поверхность полусферы разбивается на 200 ячеек равной площади (Вистелиус, 1958). Первоначальными центрами систем трещин являются центры ячеек ТБ, в которых достигаются локальные максимумы частот. Это означает, что число точек, попавших в данную ячейку, должно быть не меньше числа точек, попавших в любую из соседних ячеек ТБ, имеющих с данной общей границу или хотя бы точку. В полученной совокупности центров систем отбраковываются такие точки, для которых можно найти другой центр с большей частотой на расстоянии меньше «критического». Все расстояния на полусфере измеряются по дугам больших кругов в градусах или радианах. Критическое расстояние определяется дугой длины ϕ_0 . Оно в известной степени влияет на качество выделения систем и может регулироваться пользователем. Практика показывает, что вполне удовлетворительные результаты можно получать при $\phi_0 = 30^\circ$.

После определения центров систем проводится несколько циклов классификации отдельных трещин с коррекцией положения центров систем. Классификация трещин по выделенным системам с координатами центров $\{\alpha_i, \beta_i\}$ ($i=1, 2, \dots, n$; n — количество систем) осуществляется из соображений «минимизации риска» (Айвазян и др., 1974) в предположении, что для всех систем расстояния между центрами и отдельными точками подчиняются круговому нормальному распределению с дисперсией σ_0^2 . Тогда трещина $\{\alpha_i, \beta_i\}$ относится к системе с центром $\{\alpha_{i_0}, \beta_{i_0}\}$, если для всех $i \neq i_0$ выполняется неравенство

$$\frac{\phi^2(i, j) - \phi^2(i_0, j)}{2\sigma_0^2} > \ln \frac{P_i}{P_{i_0}} \quad (1)$$

где $\phi(i, j)$ — расстояние между точками $\{\alpha_i, \beta_i\}$ и $\{\alpha_j, \beta_j\}$, P_i — «вес» i -й системы (первоначально он полагается равным количеству точек, попавших в соответствующую клетку ТБ). Среднеквадратичное отклонение σ_0 полагается равным $\phi_0/2$. Такие трещины, у которых для всех $j=1, 2, \dots, n$ выполняется условие $\phi(i, j) > 2\sigma_0 = \phi_0$, считаются не относящимися ни к одной системе, т. е. отбракованными.

После проведения классификации обобщенные характеристики центров систем пересчитываются; веса систем полагаются равными количеству отнесенных к ним трещин; координаты центров систем вычисляются как средние арифметические азимутов и углов падения отнесенных к ним трещин. Исключение составляют субгоризонтальные, субвертикальные трещины, а также трещины, падающие в сторону севера. В первом случае пересчитывается только средний угол падения системы. Во втором случае учитывается возможность отнесения к данной системе таких трещин, у которых азимут падения отличается от среднего азимута примерно на 180° ; при наличии таких трещин они мысленно переносятся в диаметрально противоположную точку единичной сферы (приобретая угол падения $> 90^\circ$) и с такими значениями параметров участвуют в расчете новых средних характеристик ориентировки. В третьем случае сходным образом учтена возможность отнесения к одной системе трещин с азимутами, близкими как к 0° , так и к 360° . Каждый новый цикл классификации трещин производится со вновь скорректированными весами систем и координатами их центров. По прохождении нескольких циклов классификация становится устойчивой.

Средние значения раскрытия трещин в системах, необходимые для оценки инженерно-геологических свойств массивов горных пород, вычисляются по обычной формуле

$$\bar{b}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} b_{ij}, \quad (2)$$

где n_i — количество трещин в i -й системе; b_{ij} — раскрытие j -й трещины, при наличии заполнителя оно полагается равным $b_{ij}=b_{\text{экв}}$ (см. п. 2).

Среднее значение расстояния между трещинами конкретной системы вычисляется на основе решения геометрической задачи отыскания истинного расстояния a_i между соседними трещинами этой системы по характеристикам их привязки на ломаной линии (Количко, 1977). Это решение распадается на два этапа: 1) вычисление промежуточного расстояния a'_i между следами трещин (или их продолжениями) вдоль единого направления на стенке штолни; 2) вычисление a_i через a'_i с помощью известной в структурной геологии формулы Леонтьевского. Отличие используемой нами методики расчетов от приведенной в работе (Количко, 1977) состоит в том, что для систем трещин, падающих в одну сторону с направлением штолни (угол γ между азимутом падения системы и азимутом направления штолни удовлетворяет условию $\gamma \leq 90^\circ$) или в противоположную сторону ($\gamma > 90^\circ$), направления для расчета расстояний a'_i выбираются по-разному: в первом случае это направление звена ломаной «вверх», во втором случае — «вниз». В соответствии с этим формула Леонтьевского приобретает единый вид для систем обоих типов. Такой способ позволяет существенно повысить точность вычисления расстояний между трещинами тех систем, для которых $\gamma > 90^\circ$, а в случае, когда следы трещин параллельны направлению линии «вверх», устраниТЬ невозможность расчетов по использовавшейся ранее методике.

Среднее расстояние между трещинами i -й системы вычисляется по формуле

$$\bar{a}_i = \frac{1}{n'_i} \sum_{j=1}^{n'_i} \bar{a}_{ij}, \quad (3)$$

где n'_i — количество промежутков между соседними трещинами системы, для которых вычисляются расстояния a_{ij} . После вычисления \bar{a}_i определяется истинное расстояние между трещинами системы, пересчитанное на всю длину интервала:

$$a_{\text{ист}} = \frac{L}{L_i} \bar{a}_i, \quad (4)$$

где L — длина интервала, L_i — длина той части интервала, на которой встречаются трещины i -й системы.

Наиболее распространеными в инженерных приложениях обобщенными характеристиками трещиноватости являются средний линейный размер блоков, которые разделены трещинами выделяемых на данном интервале систем (блочность $\bar{a}_{\text{бл}}$), и отношение общего объема трещин (рассматриваемых как пустоты) к объему массива горных пород (пустотность Π). Эти характеристики вычисляются по известным формулам (Рац, Чернышев, 1970)

$$\Pi = \sum_{i=1}^n \frac{\bar{a}_i}{\bar{a}_i + \bar{b}_i}, \quad (5)$$

$$\bar{a}_{\text{бл}} = \sqrt{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\left(1 + \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\bar{a}_4}}\right) \left(1 + \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\bar{a}_5}}\right) \dots}}, \quad (6)$$

где n — число систем трещин (формула (6) рассчитывается только при $n \geq 3$, причем при $n=3$ знаменатель отсутствует); \bar{b}_i , \bar{a}_i — соответственно

среднее раскрытие и среднее расстояние между трещинами i -й системы ($i=1, 2, \dots, n$); для формулы (6) должно выполняться условие

$$\bar{a}_1 \leq \bar{a}_2 \leq \bar{a}_3 \leq \dots \quad (7)$$

Расчет коэффициента фильтрации скального массива по геометрическим параметрам трещин

Расчет водопроницаемости трещиноватого скального массива проводится согласно составленному авторами «Руководству по расчету коэффициента фильтрации скального массива по параметрам трещин», Москва, Стройиздат, 1979 г. Процесс фильтрации предполагается стационарным, жестким, напорным. Трещиноватость предполагается системной. Для расчетов используется модифицированный тензорный метод (Иванова, 1977), реализуемый на ЭВМ при наличии следующей исходной информации (i — индекс системы): 1) раскрытие трещин (b_i); 2) ориентация систем трещин в пространстве с указанием угла и азимута падения $\{\beta_i, \alpha_i\}$; 3) среднее расстояние между трещинами в каждой системе; 4) сведения о шероховатости поверхности трещин (если исследования шероховатости не проводились, то она определяется ориентированно по соответствующей таблице в работе В. Н. Жиленкова и др., 1970); 5) сведения о наличии заполнителя в трещинах и его описание, а также, если возможно, его коэффициент фильтрации.

Модифицированный тензорный метод позволяет дать оценку порядка коэффициента фильтрации при единичном значении градиента напора в массиве. По сравнению с известными ранее тензорным методом (Ромм, 1966) и методом линейных элементов (Louis, 1968), неприемлемыми в практике инженерных изысканий, он сочетает в себе простоту реализации с удовлетворительным качеством результатов. Расчет фильтрационных характеристик массива посредством модифицированного тензорного метода выполняется следующим образом.

а) Коэффициент фильтрации в заданном направлении вычисляется по формуле

$$k = f \frac{\gamma_v}{12\mu} \sum_{i=1}^n \chi_i \frac{b_i}{a_i} \{1 - [\sin \beta_i (\cos \alpha_i \cos \varphi + \sin \alpha_i \cos \rho) + \cos \beta_i \cos \gamma]^2\}, \quad (8)$$

где n — количество систем трещин, γ_v — плотность жидкости ($\text{г}/\text{см}^3$), μ — динамический коэффициент вязкости ($\text{г}\cdot\text{сек}/\text{см}^2$), $\cos \rho$, $\cos \varphi$, $\cos \gamma$ — косинусы углов наклона вектора градиента напора к осям координат (восток, север, зенит), χ_i — поправка, учитывающая шероховатость стенок трещин i -й системы. При среднем раскрытии трещин в массиве $b_i < 0,1 \text{ см}$ для определения χ_i рекомендуется пользоваться формулой В. Н. Жиленкова

$$\chi_i = \frac{1}{1 + A/b_i}, \quad (9)$$

где A находится либо экспериментально соответственно правилам, изложенным в работе (Жиленков и др., 1970), либо по таблице, приведенной там же. В остальных случаях величина χ_i принимается равной единице. В формуле (8) f — поправочная функция, с помощью которой осуществляется модификация тензорного метода, т. е. учитываются взаимодействие потоков при пересечении трещин, поле истинных раскрытий, режим движения и т. д. Функция f как бы связывает фильтрацию в реальной трещиноватой среде с фильтрацией в некоторой фиктивной среде с усредненными характеристиками трещиноватости.

Расчет поправочной функции производится по следующим формулам:

1. При среднем раскрытии трещин в массиве меньших или равных 0,1 см

$$f = 0,34 M_N^{-0,3} V_N^{0,9} e^{-(1,4V_b+2,5V_b^2)} \quad (10)$$

2. При среднем раскрытии трещин в массиве от 0,1 до 1 см

$$f = 0,064 M_N^{-0,7} V_N^{0,8} e^{-(3,2M_b+V_b+3,3V_b^2)} \quad (11)$$

Здесь M , V — символы среднего и коэффициента вариации параметра, указанного в индексе

$$N = \frac{\sin^2 \lambda}{a}, \quad (12)$$

где λ — угол между градиентом напора и нормалью к рассматриваемой системе трещин. Выражение для $\sin^2 \lambda$ через параметры трещиноватости эквивалентно выражению в фигурных скобках в формуле (8).

3. При больших значениях средних раскрытий используется формула (11) с некоторым изменением параметра M_b , а именно в диапазоне $1 \text{ см} \leq M_b < 10 \text{ см}$ величина M_b делится на 10. Это следует из внутренней структуры проведенной модификации тензорного метода. Случай, когда $M_b \geq 10 \text{ см}$, не рассматривается как маловероятный.

б) Среднеобъемное значение коэффициента фильтрации находится как среднеарифметическое главных коэффициентов фильтрации или как среднеарифметическое диагональных элементов тензора водопроницаемости.

Если трещина полностью или частично (на $m\%$) заполнена, то раскрытие этой трещины пересчитывается на эквивалентное (по пропускной способности) раскрытие открытой трещины по следующей формуле:

$$b_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{k_{\text{зап}} b}{\gamma/12\mu} \cdot \frac{m}{100} + b^3 \left(1 - \frac{m}{100}\right)^3}, \quad (13)$$

где b , $b_{\text{экв}}$ — раскрытие заполненной трещины и эквивалентной ей; $k_{\text{зап}}$ — коэффициент фильтрации заполнителя, определяемый либо экспериментально, либо по таблице ориентировочных значений коэффициентов фильтрации грунтов — заполнителей трещин, представленной в упомянутом выше «Руководстве».

Расчет модуля деформации скального массива

В настоящее время для расчета модуля деформации трещиноватого скального массива предложены различные методы, из которых применяются методы К. В. Руппенейта (1975) и Б. Д. Зеленского (1967), в которых трещиноватый массив разбивается на последовательно чередующиеся зоны трещины и целикового материала. Хотя такой подход и не является достаточно корректным для произвольной сети трещин, он используется ввиду того, что более совершенные модели находятся лишь в начальной стадии теоретической разработки.

Следует отметить, что использование этих методов предполагает определение относительной площади скальных контактов, что практически довольно затруднительно; кроме того, эти методы не дают зависимости величины модуля деформации от прилагаемой нагрузки. В связи с этим наряду с расчетом модуля деформации, по К. В. Руппенейту, предлагается расчет этой величины по методу, разработанному Г. Л. Русиным в Лаборатории математических методов ПНИИСа. Этот метод свободен от указанных недостатков, хотя и не претендует на большую, чем первый, корректность. Модуль деформации в заданном на-

правлении массива, пересеченного системами трещин, согласно К. В. Руппенейту, равен

$$E = \frac{E_m}{1 + \sum_{i=1}^n \eta_i (1 - \sin^4 \lambda_i)}, \quad (14)$$

где E_m — модуль деформации ненарушенного материала; i — индекс системы трещин; λ_i — угол между направлением, в котором вычисляется модуль деформации, и нормалью к плоскости i -й системы трещин;

$\eta_i = \frac{\bar{b}_i}{\varepsilon_p \bar{a}_i}$ — геометрическая характеристика трещин i -й системы; \bar{b}_i — среднее раскрытие трещин i -й системы; ε_p — относительная площадь скальных контактов; \bar{a}_i — среднее расстояние между трещинами i -й системы. Выражение $\sin^4 \lambda_i$ через параметры трещиноватости имеет вид

$$\sin^4 \lambda_i = \{1 - [\sin \beta_i (\sin \alpha_i \cos \rho + \cos \alpha_i \cos \varphi) + \cos \beta_i \cos \gamma]^2\}^2, \quad (15)$$

где ρ , φ , γ — углы, образуемые направлением, в котором вычисляется модуль деформации с осями координат. Указанный метод предполагает, что ε_p является величиной постоянной и равной $3 \cdot 10^{-4}$.

В отличие от этого метод расчета E массива, разработанный Г. Л. Русиным, базируется на предположении об изменении величины ε_p в процессе нагружения массива от начальной величины $\varepsilon_{p0} = 3 \cdot 10^{-4}$ до некоторой конечной величины ε_{pk} . В процессе разработки вводится деформационная модель зоны трещины (Русин, 1978), позволяющая выразить изменение ширины трещины от сжимающей нагрузки зависимостью

$$b = b_0 \left(1 - \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_k}}\right), \quad (16)$$

где b_0 — начальная ширина трещины; σ — сжимающее напряжение, нормальное к плоскости трещины; σ_k — предел прочности ненарушенной породы на одноосное сжатие; b — ширина трещины при напряжении.

Используя выражение (16), легко получить формулу для модуля деформации образца, имеющего форму прямоугольной призмы высотой a , пересекаемого одной поперечной трещиной с шириной b_0 . По закону Гука $E_\perp = \sigma/\epsilon$, где E_\perp — приведенный модуль деформации всего образца, ϵ — деформация образца. Деформация всего образца складывается из деформации ненарушенной части и деформации зоны трещины. Используя для определения последней выражение (16), после преобразований получим

$$E_\perp = \frac{1}{\frac{1}{E_m} + \frac{b_0}{a \sqrt{\sigma_k} V \sigma}}, \quad (17)$$

где E_m — модуль деформации ненарушенного материала. Заменяя a и b их средними (по системе) значениями, нетрудно получить модуль деформации массива с одной системой невыклинивающихся трещин, плоскости которых перпендикулярны прилагаемой нагрузке.

Аналогично получается формула для модуля деформации E_\perp массива с одной системой трещин, расположенных под углом γ к плоскости, нормальной направлению, в котором рассчитывается модуль деформации, а затем и для модуля деформации E_n массива с любым конечным числом систем незаполненных и невыклинивающихся трещин:

$$E_n = \frac{1}{\frac{1}{E_m} + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{b}_i}{\bar{a}_i} V \cos \gamma_i}, \quad (18)$$

Краткая характеристика комплекса программ для ЭВМ «Наири-2», входящих в АСОД

Для работы с программами данного комплекса необходим стандартный комплект «Наири-2», включающий в себя механизмы ввода — вывода «Consul», ФСМ-1501 и ПЛ-80.

Комплекс программ для ЭВМ «Наири-2», реализующих обработку данных по трещиноватости в соответствии с теоретическими решениями, изложенными выше, состоит из семи программ *:

1. Программа проверки исходной информации (П-1).
2. Программа выделения систем трещин (ВСТ).
3. Программа вычисления обобщенных характеристик систем (ВХС).
4. Программа проверки данных по системам (П-2).
5. Программа оценки фильтрационных свойств массива (ОФС).
6. Программа оценки блочности, пустотности и деформируемости массива (БПД).
7. Программа расчета модуля деформации (Д-2).

Наличие большого количества отдельных программ связано с небольшим объемом оперативной памяти ЭВМ «Наири-2». Наличие двух программ вычисления модуля деформации трещиноватого массива обусловлено двумя методиками этого расчета (см. п. 3); в настоящее время нет веских оснований предпочесть одну из этих методик другой.

Программы 1—3 ориентированы на исходную информацию по трещиноватости, задокументированную в пределах одного определенного интервала по методу ломаной линии (см. п. 1).

Основное назначение программы П-1 состоит в том, чтобы исходная информация не содержала грубейших ошибок перфорации, которые могли бы значительно исказить результаты расчетов или сделать работу остальных программ невозможной. Программа ВСТ предназначена для обработки исходной информации с целью выделения систем трещин в пределах данного интервала и оценки средних значений угла и азимута падения всех систем, а также для вычисления среднего значения и коэффициента вариации раскрытия трещин в пределах данного интервала, которые необходимы для расчетов проницаемости. Программа ВХС осуществляет вычисление средних расстояний между трещинами и средних раскрытий трещин в системах в пределах интервала, а также выдает результаты, необходимые для расчетов по программам ОФС и БПД. Результаты работы выдаются на печать и на перфорацию и используются для дальнейших расчетов.

Информация о системах трещин, необходимая для работы программ 2—7 (см. п. 2), может быть получена в результате работы программ 2—3 или каким-либо другим способом. В последнем случае она набивается на перфоленту отдельно и пропускается по программе П-2. Работа этой программы аналогична работе программы П-1. Программы ОФС, БПД и Д-2 осуществляют расчет коэффициента фильтрации и модуля деформации в направлениях «восток», «север», «зенит», а также в любых заданных направлениях соответственно методом, изложенным выше. Кроме того, оценивается блочность и пустотность массива по формулам (5) и (6). Программы могут последовательно обрабатывать информацию по нескольким интервалам.

Опыт внедрения и оценка экономической эффективности

В единую систему АСОД оформилась в 1978 г. и тогда же была апробирована в процессе инженерных изысканий на створе Рогунской ГЭС, однако отдельные ее элементы внедрялись в практику ранее. Так,

* В составлении программ принимали участие В. Б. Бонич, А. И. Иванов, Е. В. Клюхина.

модифицированный тензорный метод определения коэффициента фильтрации использовался при инженерных изысканиях и исследованиях для строительства Богучанской ГЭС в 1974 г., ГОКа Эрдэнэт (МНР) в 1973 г., Баганурской ГРЭС (МНР) в 1977 г., Курпайской ГЭС в 1977 г. Относительно немалый опыт внедрения позволил накопить необходимый минимум информации для сопоставления результатов расчета с экспериментальным материалом, который представлен на рис. 1. Собранный здесь фактический материал относится к верхнемеловым красноцветам участка створа Рогунской ГЭС и комплексу палеозойских изверженных пород участка хвостохранилища ГОКа Эрдэнэт в МНР. Из этого рисунка становится очевидной достаточная добротность метода.

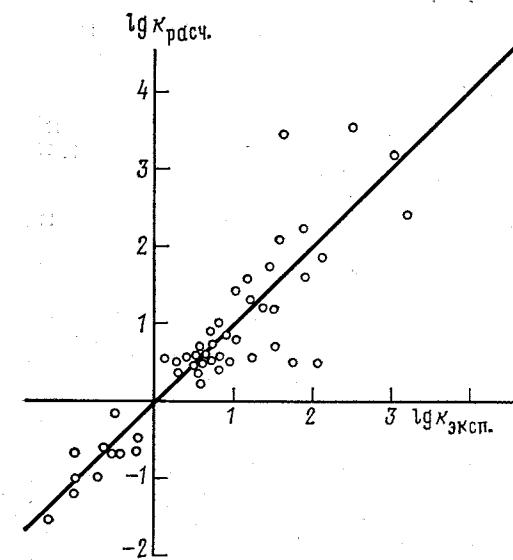


Рис. 1. Сопоставление данных опытно-фильтрационного опробования с результатами расчетов модифицированным тензорным методом

На материале документации трещиноватости по штолням Рогунской ГЭС проводился сравнительный анализ расчетных методов К. В. Руппенейта и Г. Л. Русина по определению модуля деформации для тех интервалов штолен, в которых выполнялось сейсмопрофилирование (рис. 2). Здесь по оси абсцисс отложены значения V_p , полученные экспериментально. Рисунок 2 дает представление о соотношении рекомендаций по этим методам в среднем.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что расчетные методы оценки свойств трещиноватого массива не могут заменить прямых экспериментальных определений, но дают достаточно хорошую сходимость с последними, чтобы использоваться при решении задач интерполяции и экстраполяции, а также для планирования дорогостоящих полевых экспериментов.

Комплексное внедрение АСОД на створе Рогунской ГЭС преследовало цель инженерно-геологического районирования массива. При этом обработаны результаты 200 тыс. измерений параметров трещиноватости примерно по 3 км штолен. В результате получены оценки пустотности, блочности, проницаемости и деформируемости по 300 интервалам, используемые в настоящее время по своему назначению.

Накопленный опыт внедрения позволяет наметить пути оценки экономической эффективности АСОД. Для этого составим ориентировочный

расчет экономии от замены опытных работ, приходящихся на 100 м горных выработок. Будем условно считать, что по существующей методике изысканий на этот интервал приходится в среднем $N_k=10$ опытных откачек и $N_{ш}=2$ штампопыта. При расчете «базового» варианта необходимо скорректировать указанный объем опытных работ с учетом сравнительной точности определения инженерно-геологических свойств скальных пород. Сравнительная точность характеризуется отношением дисперсий определения коэффициентов фильтрации и модулей деформации расчетным и опытным путем. Практика показывает, что обычно это отношение не превосходит величины $\sigma^2_{расч}/\sigma^2_{опытн} \leq 2$. С учетом этого

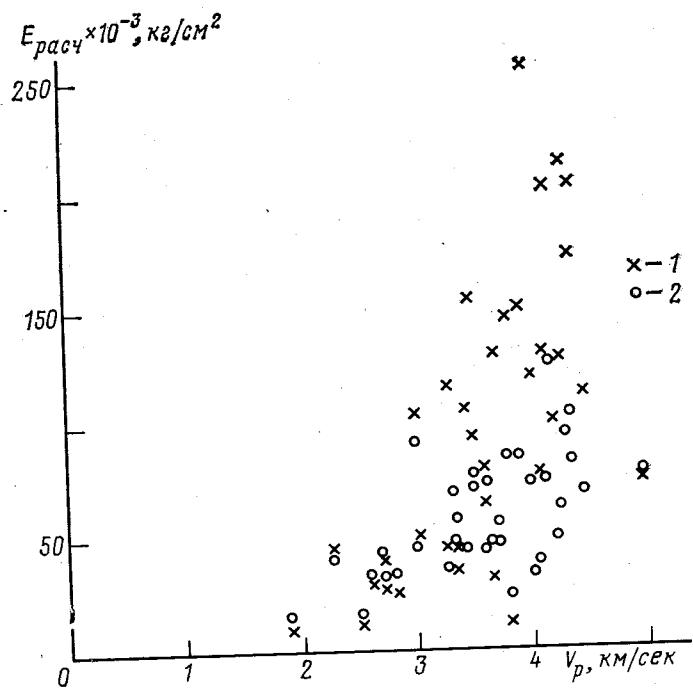


Рис. 2. Сравнение результатов расчета модуля деформации массива по методам К. В. Руппенейта (1) и Г. Л. Русина (2) по интервалам штолен участка створа Рогунской ГЭС

можно положить гарантированные «приведенные» количества сэкономленных опытных откачек и штампоопытов равными соответственно $N_s=5$ и $N_w=1$.

$N_k=5$ и $N_m=1$.
При расчетах эффективности мы не будем учитывать, с одной стороны, затраты на бурение скважин, проходку штолен и т. п. работы (при опытных исследованиях), с другой — затраты на проходку выработок и на документацию трещиноватости (для проведения расчетов), поскольку эти работы выполняются при всех обстоятельствах. Стоимость проведения и обработки результатов одной откачки штанговым насосом полагаем равной 565 руб., а стоимость проведения одного штампа опыта в скальных грунтах — не менее 2 тыс. руб. (Сборник цен..., 1967). Поэтому общая сумма расходов на определение инженерно-геологических свойств скального массива на 100 м выработки составляет $C_b=565 \times 5 + 2000 = 4825$ руб.

Соответствующие расчеты на ЭВМ занимают несколько минут. Основные затраты падают на набивку исходной информации и проверку правильности перфолент. Во всех случаях затраты на подготовку ин-

формации по интервалу 100 м выработки и счет по программам не превышают 10—20 руб.

Таким образом, экономия от использования автоматической обработки данных по трещиноватости при сделанных допущениях составляет примерно 4800 руб. на 100 м горных выработок. Соответственно для такого объекта, как Рогунская ГЭС, расчет дает сумму примерно в 140 тыс. руб. Столь ощутимый экономический эффект от использования АСОД дает основание предполагать ее быстрое и широкое внедрение на объектах строительства на скальных основаниях.

Производственный и научно-исслед. ин-т инж. изысканий в строительстве

Поступила в редакцию
27.11.1979 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Айвазян С. А., Бежаева З. И., Староверов О. В.* Классификация многомерных наблюдений. М., «Статистика», 1974.

Вистелиус А. В. Структурные диаграммы. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1958.

Жиленков В. Н., Гуляева Л. В., Овчинникова А. В. О влиянии на водопроницаемость трещин шероховатости их стенок.—Тр. коорд. совещаний по гидротехнике, 1970, вып. 48.

Зеленский Б. Д. О методе учета влияния трещиноватости на деформационные свойства скальных массивов.—Тр. Ленинградск. инж.-эконом. ин-та, вып. 68. Л., 1967.

Иванова Н. Б. Модифицированный тензорный метод направленного коэффициента фильтрации трещиноватых скальных массивов с системной сетью трещин по параметрам трещиноватости.—В сб.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 1 (54). М., 1977.

Количко А. В. Оценка параметров сети трещин в массиве горных пород (способ «ломаной линии»).—В сб.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 1 (54). М., 1977.

Кригер Н. И. Трещиноватость и методы ее изучения при гидрогеологической съемке. М., Металлургиздат, 1951.

Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах.—М., Госэнергоиздат, 1951.

Нейштадт Л. И. К вопросу об изучении трещиноватости в связи с оценкой инженерно-геологических условий проектируемых гидротехнических сооружений. Гипроцветмет.—Матер. по инж. геол., 1953, № 4.

Рац М. В. Краткие указания по применению статистико-генетического метода изучения трещиноватости скальных массивов. М., Изд-во Гидропроект, 1962.

Рац М. В. Статистико-генетический метод изучения трещиноватости.—Бюл. МОИП. Отд. геол., 1963, № 6.

Рац М. В., Чернышев С. Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород. М., «Недра», 1970.

Рекомендации по изучению трещиноватости горных пород при инженерных изысканиях для строительства. М., Стройиздат, 1974.

Ромм Е. С. Фильтрационные свойства трещиноватых пород. М., «Недра», 1966.

Руппенейт К. В. Деформируемость массивов трещиноватых горных пород. М., «Недра», 1975.

Русин Г. Л. Расчет зависимости ширины трещины в массиве горных пород от скимающей нагрузки.—В сб.: Инженерные изыскания в строительстве, вып. 4 (69). М., 1978.

Сборник цен на проектные и изыскательские работы для строительства. М., Стройиздат, 1967.

Louis C. Etude des ecoulements d'eau dans les roches fissurées et de leurs influences sur la stabilité des massifs rocheux.—Bull. de Direction des Etudes et Recherches. Ser. A, 1968, № 3.

ВАЛЯХ В. М., ГРАФСКИЙ Б. В.

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
МАТЕРИАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ТЕРРИТОРИИ
ТУРГАЙСКОГО УЧАСТКА ТРАССЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО КАНАЛА
ИРТЫШ — АРАЛЬСКОЕ МОРЕ**

Материалы радиолокационной (РЛ) съемки использовались нами в опытно-экспериментальном порядке при оценке инженерно-геологических условий участка трассы проектируемого канала Иртыш — Аральское море.

Первый участок расположен в лесостепной и степной зонах в пределах Тургайской эрозионно-тектонической депрессии и охватывает в основном долинный комплекс р. Тобол.

В долине р. Тобол развиты аллювиальные и озерно-аллювиальные комплексы отложений поймы, I и II надпойменных террас четвертичного возраста. Водораздельная равнина представляет собой возвышенное плато, сложенное озерно-аллювиальными образованиями неоген-палеогена, перекрытыми чехлом покровных супесей и суглинков. К долине реки она подходит в виде пологого склона с характерным комплексом склоновых осадков, осложненного иногда структурными ступенями с выходами на поверхность коренных пород.

По территории участка проходит граница зон лесостепи и степи. Для первой из них характерны ленточные колки, связанные с овражно-балочной сетью, и островные колки, приуроченные к просадочным понижениям. В степной зоне колки отсутствуют, а водораздельные участки сплошь распаханы.

На РЛ-материалах удается выделить все имеющиеся природно-территориальные комплексы, причем рисунок РЛ-изображения весьма близок к аэрофотографическому. Характерно также и то, что отдельные крупные фрагменты изображения четко увязываются с распространением природно-территориальных комплексов, а внутриконтурный рисунок изображения отражает их морфоструктурные особенности, отчетливо выделяются ландшафтные индикаторы вещественного состава отложений (рис. 1, табл. 1). В единичных случаях состав поверхностных отложений дешифрируется по прямым признакам (рис. 1, табл. 1). Распространение грунтовых вод дешифрируется в единичных случаях и только по прямым признакам при неглубоком залегании и супесчано-песчаном составе поверхностных отложений (рис. 1, табл. 1). Значительным своеобразием отличается изображение древесной растительности. В пределах Тургайского полигона на РЛ-материалах для нее характерен очень яркий белый цвет и зернисто-штриховатая структура. При этом видовой состав растительности (сосновые боры, березовые рощи) по прямым признакам не различается. Березовые колки распознаются по характерной форме контура, обусловленной приуроченностью к определенным микроформам рельефа: просадочным блюдцам, мочажинам и оврагам. По сравнению с аэроснимками на РЛ-материа-

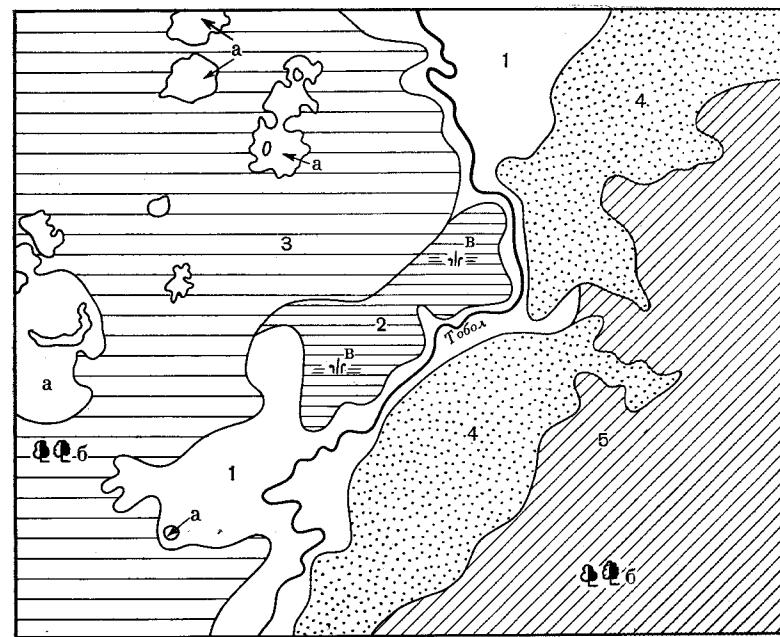


Рис. 1. Примеры дешифрируемости природных комплексов Тургайской эрозионно-тектонической депрессии. 1 — пойма р. Тобол; 2 — I надпойменная терраса, частично распаханная, лесостепная; 3 — II надпойменная терраса, частично распаханная, лугово-степная с колками; 4 — боровые пески; 5 — склоновая плакорная равнина, преимущественно распаханная, лесостепная; *a* — просадочные озера; *b* — березово-осиновые колки; *b* — травяные болота с дренажной сетью

лах более контрастно изображаются увлажненные грунты. На участках поймы, занятой мокрыми и заболоченными лугами и сложенной суглинками, потемнение тона изображения за счет суммарного воздействия литологии и увлажнения было столь интенсивным, что затушевывало элементы морфоструктуры этого ландшафта.

Примеры дешифрируемости природных комплексов на рассматриваемом участке приведены на рис. 1. Дешифровочные признаки ландшафтных компонентов основных природно-территориальных комплексов сведены в табл. 1. Итак, по результатам работ можно сделать вывод, что информативность РЛ-метода для аналогичных районов в целом близка к информативности аэрофотометодов. Основным методом дешифрирования и интерпретации является ландшафтно-индикационный.

Второй участок в геолого-структурном отношении приурочен к Тургайско-Чуйской синеклизе и представляет собой возвышенное структурно-денудационное плато, осложненное крупными бессточными впадинами (Мынбулакская), дефляционно-эрэзионно-тектонического генезиса.

Облик современных ландшафтов рассматриваемой территории во многом определяется ее геолого-структурными особенностями, причем основным тектоническим и структурным элементам свойственно прямое орографическое выражение.

Возвышенное структурно-денудационное плато разделяется на два уровня: низкий — сложенный терригенными отложениями мела, и высокий, где развиты песчано-щебнистые отложения палеогена и неогена.

Для поверхности плато низкого уровня характерно чередование денудационных останцов в виде плосковерхих холмов и сопочных возвышений, разделенных замкнутыми и полузамкнутыми западинами. Поверхность высокого уровня плоская или слабо волнистая.

Таблица 1

Генетический ряд ландшафта	Генетическая группа ландшафта	Генетический тип ландшафта	Дешифровочные признаки		
			рельеф	растительность и почвы	
1	2	3	4	5	
Аккумулятивный	Аллювиальная	Пойма лесостепная	Плоская, местами гравийная, сильно расчлененная меандрирующими руслами, с многочисленными озерами и болотами. Отдельные гривки и небольшие понижения имеют серый или более светлый тон, но, как правило, выражены нечетко, создают «рябью» рисунок. Плоские пониженные и заболоченные участки имеют темно-серый, почти черный, с расплывчатыми очертаниями тон	Разнотравно-типчаковые, разнотравно-осоковые луга и массивы ивняков, осоковые болота; пойменные луговые, иногда засоленные и луговые пойменные слоистые, перегнойно-глеевые почвы.	
		I надпойменная терраса, частично распаханная, лесостепная	Ровная, мелкозападинная, слабо расчлененная оврагами равнина	Вследствие большой микрокомплексности почвенно-растительного покрова изображение неоднородное, от серого до черного	
		II надпойменная терраса, частично распаханная, лугово-степная с колками	Слабоволнистая западинно-озерная равнина. Фоновое изображение темно-серое, однородное, заметна сеть потяжин и понижений, обычно параллельно-ориентированных, более темного цвета. Мелкие пятна белесого цвета—просадочные понижения и западины	Распаханная, на целине—луговые степи, лугово-степные черноземы, солонцы луговые. Распаханность имеет очень слабое РЛ-изображение в виде квадратов и прямоугольников серого цвета. Целинные степи имеют однотонное темно-серое (до черного) изображение с мелкой пятнистостью	
		Склоновая плакорная равнина	Ровная слабо расчлененная равнина. Однообразный рисунок характерен для ровных нерасчлененных поверхностей с колками по мочажинам и западинам	■ Распаханные, на целине—луговые степи и березово-осиновые колки. Луговые степи (основной фон)—изображение однородное, серое, неясномикрозернистое. Распаханные земли—отдельные прямоугольники или многоугольники, обычно более темного, чем основной фон, цвета. Березово-осиновые колки на серых лесных осололедовых почвах приурочены как к небольшим просадочным западинам, так и мочажинам и проноянам и имеют белый цвет и микропятнистое или штриховатое изображение	

гидросеть	вещественный состав	грунтовые воды	физико-геологические процессы
6	7	8	9
Сильно меандрирующие, ветвящиеся русла, многочисленные озера и болота. Озера имеют четкие контуры и черный цвет. Русла выражаются сильно извилистыми линиями белого цвета. Болота имеют расплывчатые очертания и темно-серый, почти черный цвет	Вещественный состав по прямым признакам не дешифрируется, но устанавливается с помощью ландшафтно-индикационного метода. Гривки с разнотравно-типчаковой луговой растительностью индуцируют супесчано-песчаный состав отложений; разнотравно-осоковые заболоченные луга в понижениях индицируют суглинистые грунты	Интенсивное потемнение тыловых частей поймы связано с большой влажностью и близким к поверхности залеганием грунтовых вод; на повышенных посветление тона, возможно, связано с их более глубоким залеганием	Заболачивание отражается в потемнении РЛ-изображения
—	По прямым признакам дешифрируется суглинистый состав отложений — темно-серый, почти черный цвет	Не дешифриуется вследствие интенсивного поглощения радиоволн увлажненными суглинками, развитыми с поверхности	Просадочность дешифрируется по распространению мелких западин (дешифровочные признаки см. в гр. 4)
Озера имеют четкие округлые, овальные и вытянутые неправильной формы контуры, черный цвет часто со светлой каймой	Вещественный состав грунтов по прямым признакам не дешифрируется. Суглинистый состав отложений устанавливается почвенно-растительными индикаторами (колки на серых суглинистых осоложденных почвах и луговые степи на суглинистых черноземах)	Не дешифрируется	Просадочность дешифрируется по распространению многочисленных озер и мелких западин (дешифровочные признаки см. в гр. 4, 6)
Дешифрируется овражно-балочная сеть по белым и белесым линиям (осиново-березовые колки)	Вещественный состав не дешифрируется	Не дешифрируется	Эрозионные процессы — широкое развитие овражно-балочной сети (белые и белесые линии)

Таблица 2

Генетический ряд ландшафта	Генетическая группа ландшафта	Генетический тип ландшафта	Дешифровочные признаки		Ландшафтных компонентов			
			рельеф	растительность и почвы	гидросеть	вещественный состав	грунтовые воды	физико-геологические процессы
			4	5	1	7	8	9
Аккумулятивный	Проливальная	Плоские, волнистые, террасированные днища сухих долин, пустынные	Корытообразные долины малых рек с периодическим стоком дешифрируются по длинным полосам неоднородного цвета с четко выраженным руслом, меандрирующим, разветвленным, темно-серого, иногда почти черного цвета. Хорошо выделяются затакыренные мелкие западины и крупные понижения (староречья) по черному цвету, образующему пятна и полосы, а также (в мелких долинах) по белым неоднородным пятнам (солончаки). В более крупных долинах дешифрируется пойма, имеющая серый цвет, микрозернистую, местами ноздреватую структуру	Растительность не дешифрируется. Хорошо выделяются по белым неоднородным пятнам корковые и корково-пухлые солончаки.	Хорошо дешифрируются русла временных водотоков по полосчатому и веерно-полосчатому белесо-серому или черному изображению	Дешифрируется по прямым признакам в крупных долинах. Светло-серый цвет с характерной зернистостью (пески с гравием и галькой)	Линзы грунтовых вод дешифрируются с помощью ландшафтных индикаторов. Приурочены к такырам и солончакам. Дешифровочные признаки см. в гр. 4	Отакыривание, засоление (дешивровочные признаки см. в гр. 5). Аккумуляция, образование конусов выноса сухих дельт дешифрируются по метельчатому рисунку устьевых частей русел и пятнам серого цвета характерной конусовидной формы на черном фоне та-кыровидных равнин
		Плоские или слабоволнистые низкие водораздельные плато, пустынные	Плоская и пологоволнистая равнина, местами слабо-расчлененная неглубокими сухими руслами временных водотоков, с многочисленными понижениями неправильной формы. Неоднородное грубозернистое преимущественно серое и светло-серое изображение. Понижения в рельефе выделяются пятнами и полосами серого и темно-серого, реже белесого цвета расплывчатых очертаний изометричной формы	По неоднородному грубо-зернистому светло-серому изображению опознаются серо-бурые пустынные солончаковые почвы с кермеково-солянково-полянными группировками. Мокрые солончаки и такыры определяются по пятнам темно-серого и черного цвета	Дешифрируются цепочки темных пятен расплывчатых очертаний, обозначающие русла временных водотоков	Серый, местами светло-серый с крапом, местами темно-серый ровный цвет характерен для супесей, местами песков малой мощности, подстилаемых глинами	Не дешифрируются	Засоление отакыривание, эрозия (наличие сухих русел). Дешифровочные признаки соответствующих форм рельефа см. в гр. 5, 6
		Плоское или слабоволнистое, высокое водораздельное плато, пустынное	Плоская платообразная равнина, в причинных частях расчленена редкими, но глубокими оврагами, с мелкими дефляционными котловинами, занятymi такырами и солончаками. Отсутствие «радиотеней» (однородное «фоновое» изображение) свидетельствует о выровненном рельефе. Отдельно округлые и вытянутые пятна с концентрическим строением и черным пятном в центре обозначают дефляционные котловины с такырами или солончаками (темное центральное пятно)	Растительность не дешифрируется. Серо-бурые маломощные щебнистые пустынные почвы опознаются по однородному зернистому светло-серому изображению. Такыры и солончаки между собой не разделяются. Дешифрируются по однородному аморфному черному или темно-серому изображению	Хорошо дешифрируется сеть глубоких оврагов вблизи уступов плато, бортов котловин в виде извилистых коротких черных линий	Светло-серый цвет и зернистая структура характерны для песков с включениями гравия и гальки	Не дешифрируются	Дефляция (наличие дефляционных котловин), засоление (солончаки и такыры) и отакыривание, эрозия (овражная сеть). Дешифровочные признаки см. в гр. 4, 6
	Морская	Плоские, волнистые, террасированные днища сухих долин, пустынные	Корытообразные долины малых рек с периодическим стоком дешифрируются по длинным полосам неоднородного цвета с четко выраженным руслом, меандрирующим, разветвленным, темно-серого, иногда почти черного цвета. Хорошо выделяются затакыренные мелкие западины и крупные понижения (староречья) по черному цвету, образующему пятна и полосы, а также (в мелких долинах) по белым неоднородным пятнам (солончаки). В более крупных долинах дешифрируется пойма, имеющая серый цвет, микрозернистую, местами ноздреватую структуру	Растительность не дешифрируется. Хорошо выделяются по белым неоднородным пятнам корковые и корково-пухлые солончаки.	Хорошо дешифрируются русла временных водотоков по полосчатому и веерно-полосчатому белесо-серому или черному изображению	Дешифрируется по прямым признакам в крупных долинах. Светло-серый цвет с характерной зернистостью (пески с гравием и галькой)	Линзы грунтовых вод дешифрируются с помощью ландшафтных индикаторов. Приурочены к такырам и солончакам. Дешифровочные признаки см. в гр. 4	Отакыривание, засоление (дешивровочные признаки см. в гр. 5). Аккумуляция, образование конусов выноса сухих дельт дешифрируются по метельчатому рисунку устьевых частей русел и пятнам серого цвета характерной конусовидной формы на черном фоне та-кыровидных равнин
		Плоские или слабоволнистые низкие водораздельные плато, пустынные	Плоская и пологоволнистая равнина, местами слабо-расчлененная неглубокими сухими руслами временных водотоков, с многочисленными понижениями неправильной формы. Неоднородное грубозернистое преимущественно серое и светло-серое изображение. Понижения в рельефе выделяются пятнами и полосами серого и темно-серого, реже белесого цвета расплывчатых очертаний изометричной формы	По неоднородному грубо-зернистому светло-серому изображению опознаются серо-бурые пустынные солончаковые почвы с кермеково-солянково-полянными группировками. Мокрые солончаки и такыры определяются по пятнам темно-серого и черного цвета	Дешифрируются цепочки темных пятен расплывчатых очертаний, обозначающие русла временных водотоков	Серый, местами светло-серый с крапом, местами темно-серый ровный цвет характерен для супесей, местами песков малой мощности, подстилаемых глинами	Не дешифрируются	Засоление отакыривание, эрозия (наличие сухих русел). Дешифровочные признаки соответствующих форм рельефа см. в гр. 5, 6
		Плоское или слабоволнистое, высокое водораздельное плато, пустынное	Плоская платообразная равнина, в причинных частях расчленена редкими, но глубокими оврагами, с мелкими дефляционными котловинами, занятыми такырами и солончаками. Отсутствие «радиотеней» (однородное «фоновое» изображение) свидетельствует о выровненном рельефе. Отдельно округлые и вытянутые пятна с концентрическим строением и черным пятном в центре обозначают дефляционные котловины с такырами или солончаками (темное центральное пятно)	Растительность не дешифрируется. Серо-бурые маломощные щебнистые пустынные почвы опознаются по однородному зернистому светло-серому изображению. Такыры и солончаки между собой не разделяются. Дешифрируются по однородному аморфному черному или темно-серому изображению	Хорошо дешифрируется сеть глубоких оврагов вблизи уступов плато, бортов котловин в виде извилистых коротких черных линий	Светло-серый цвет и зернистая структура характерны для песков с включениями гравия и гальки	Не дешифрируются	Дефляция (наличие дефляционных котловин), засоление (солончаки и такыры) и отакыривание, эрозия (овражная сеть). Дешифровочные признаки см. в гр. 4, 6

Таблица 2 (продолжение)

Генетический ряд ландшафта	Генетическая группа ландшафта	Генетический тип ландшафта	Дешифровочные признаки	
			рельеф	растительность и почвы
1	2	3	4	5
Аккумулятивный	Пролювиальная	Плоская, солончаково-такырная равнина, пустынная	Плоская нерасчлененная равнина — днища бессточных владин, включающие периферические части конусов выноса. Ровная поверхность, сложенная суглинками и супесями и занятая такырами и солончаками, обладает способностью «зеркального» отражения радиоволн и на РЛ-материалах дает почти черный цвет. Родничковые холмы также отображаются частично вследствие малого «разрешения» в виде белых точек размером в булавочную головку	Растительность не дешифрируется. Выделяются такыры и солончаки (между собой не разделяются) в виде пятен черного цвета

Днища владин заняты природными комплексами песчаных пустынь с грядовыми, бугристыми, бугристо-ячеистыми формами рельефа, чередующимися с плоскими поверхностями озерного и пролювиального генезиса. Слоны владин имеют характерное ступенчатое строение, обусловленное выходами на дневную поверхность пород, различных по своему литологическому составу и плотности.

На РЛ-материалах хорошо выделяются поверхности обоих уровней.

Кроме гипсометрического фактора на контрастность РЛ-изображения этих поверхностей влияет существенное различие литологического состава отложений. Суммарное воздействие этих факторов обуславливает характерный рисунок РЛ-изображения плато (рис. 2, табл. 2). Влияние гипсометрического фактора на характер РЛ-изображения отчетливо видно при сопоставлении РЛ-снимков низкого и высокого уровней (рис. 2, табл. 2). На обычных аэрофотоснимках, как указывалось выше, дешифровочные признаки обеих поверхностей идентичны. Поверхность низкого уровня, сложенная слоистыми меловыми породами, отличается более сложным рельефом, с обилием денудационных останцов и западин, часто занятых такырами. Останцы отбрасывают небольшую радиотень и образуют характерные пятна на РЛ-изображении. Общий рисунок изображения неоднородный, неяснопятнистый, обусловлен также и пестротой фациального литологического состава меловых отложений.

Очень характерным изображением отличаются и структурно-денудационные ступени на склонах котловин. Сложененные с поверхности глинистыми осадками палеогена, они имеют темный фон, на котором отчетливо заметен рисунок гидрографического расчленения. Аккумулятивные ландшафты древнеаллювиальных образований, переработанных деятельностью ветра, также имеют специфические черты рисунка изображения, который обусловлен не только песчаным составом пород, но и характерными формами микрорельефа песков. С определенной долей вероятности могут быть опознаны грядовые, бугристые и бугристо-ячеистые пески.

Такие элементы рельефа, как крутые склоны, уступы ступенчатых котловин и «чинки», выделяются контрастно. По дешифровочным признакам удается выделить денудационные и делювиально-пролювиальные склоны.

ландшафтных компонентов			
гидросеть	вещественный состав	грунтовые воды	физико-геологические процессы
6	7	8	9
Дешифрируются мелкие овраги, речушки, промоины в виде тонких извилистых линий	Ровный, почти черный цвет характерен для супесчано-суглинистых грунтов	Не дешифрируются, за исключением отдельных «точек» разгрузки напорных вод, по признаку наличия родничковых холмов (дешевровочные признаки см. в гр. 4)	Засоление, отакыриование (дешевровочные признаки см. в гр. 5)

На РЛ-схемах очень четко проявились региональные разломы, погребенные под рыхлыми осадками. На обычных аэрофотоснимках этот разлом не дешифрируется.

Гидрогеологические условия на рассматриваемом участке по прямым признакам не дешифрируются. Ландшафтные же гидроиндикаторы, среди которых главнейшими являются родничковые холмы, очень контрастно воспроизводятся на РЛ-материалах, как на темном фоне пролювиальных равнин, так и на сером зернистом фоне песчаных пространств (рис. 2, табл. 2).

В целом объем информации, получаемой при дешифрировании РЛ-материалов, не уступает аэрофотографическому. Литологический состав отложений дешифрируется с достаточной достоверностью, так как тон РЛ-изображения функционально зависит от вещественного состава поверхностных отложений.

Определенный объем информации (как, например, погребенные региональные разломы) может быть получен только с помощью дешифрирования РЛ-материалов.

Анализ выполненных исследований материалов РЛС для региональных инженерно-геологических целей позволяет сделать следующие выводы:

1. Информативность РЛ-материалов не уступает аэрофотоматериалам.

2. Основным методом дешифрирования РЛ-материалов в подобных районах является использование как косвенных, так и прямых дешифровочных признаков с использованием ландшафтной индикации.

3. Результаты дешифрирования материалов РЛС на обоих участках показали, что природные факторы существенно влияют на характер РЛ-изображения, что определяет основные приемы дешифрирования.

В целом результаты опытно-экспериментальных исследований показали перспективность РЛ-метода для региональной оценки инженерно-геологических условий и сводятся к основным положениям:

1. Материалы РЛС по сравнению с аэрофотоснимками воспроизводят подстилающую поверхность несколько более генерализованно за счет меньшей разрешающей способности.

2. Рисунок радиолокационного изображения заметно отличается от аэрофотографического, хотя при дешифрировании и тех и других ис-

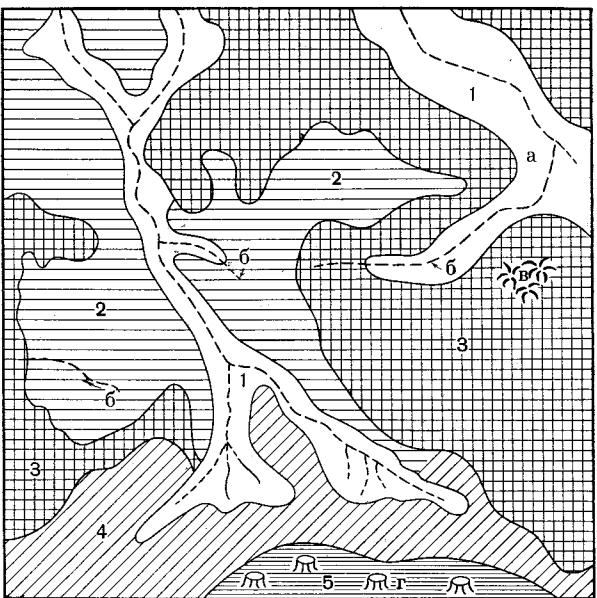


Рис. 2. Примеры дешифрируемости природных комплексов Тургайско-Чуйской синеклизы. 1 — плоские, волнистые, террасированные днища сухих долин, пустынные; 2 — плоские или слабоволнистые, низкие водораздельные плато, пустынные; 3 — плоское или слабоволнистое, высокое водораздельное плато, пустынное; 4 — пролювиальная равнина; 5 — плоская, солончаково-такырная равнина, пустынная; а — сухие долины; б — русла временных водотоков; в — такыры; г — чукколаки

пользуются одни и те же ландшафтно-индикационные признаки (прямые и косвенные).

3. На РЛ- и аэрофотоизображениях одного и того же участка находят отражение различные природные объекты. Если рисунок аэрофотоизображения обусловлен, например, чередованием разноокрашенных пластов пород, то на РЛ-изображении рисунок может быть обусловлен распространением пород разного литологического состава.

4. Дешифрирование РЛ-материалов следует производить при сопоставлении с аэрофотоснимками для привязки контуров, а также используя их при анализе и интерпретации аномалий РЛ-изображения. Аномальные контуры, не совпадающие по конфигурации и площади, следует анализировать особенно тщательно, выявляя ведущий фактор формирования РЛ-изображения.

5. Наилучшие результаты в областях распространения аридных равнин достигаются при дешифрировании аккумулятивных равнин. Денудационные равнинны обладают меньшим информационным потенциалом.

6. Дешифрирование вещественного состава пород, тектонических разломов, распространения грунтовых вод по прямым признакам отличается очень высокой степенью достоверности и иногда является дополнительной информацией по отношению к обычным аэрофотоснимкам.

Второе гидрогеологическое управление

Поступила в редакцию
9.I.1979 г.

КАЛАЧЕВ В. Я.

ПОЛЕВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИПКОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ

Проявление липкости почв и грунтов, находящихся в увлажненном состоянии, является причиной снижения производительности землеройно-транспортных машин и механизмов, ухудшения условий их проходимости, замедления темпов сельскохозяйственной обработки почв и т. д. Настоятельная необходимость борьбы с этим явлением очевидна. Однако для правильного подхода к выбору того или иного метода уменьшения липкости грунтов необходимо в каждом конкретном случае знать прежде всего ее величину. Кроме того, учет этой величины при разработке грунтов в дорожном деле, строительстве, горно-рудной промышленности и т. д. позволит более обоснованно проектировать вышеуказанные работы. Основные трудности при массовых определениях липкости грунтов связаны с отсутствием до настоящего времени удовлетворительной конструкции полевого прибора для этих целей.

В последнее время в лаборатории грунтоведения Геологического факультета Московского государственного университета разработана новая методика изучения липкости грунтов, учитывающая многообразие факторов, обуславливающих проявление этого свойства (Калачев, 1975), а также конструкция прибора (УИЛ-2), позволяющая вести определения липкости грунтов с учетом всех требований новой методики. Однако прибор УИЛ-2 относится к классу лабораторных и, несмотря на его достоинства (повышенные скорость и точность определения искомой величины), не может быть использован в полевых условиях.

Кроме прибора УИЛ-2 в нашей стране имеется несколько конструкций лабораторных и полевых приборов (Калачев, Трофимов, 1973). Последние представляют для нас наибольший интерес. К ним относятся полевые приборы М. Ф. Розена (1936), А. С. Кондры (1961), ПИЛ института ВИСХОМ (Международная передвижная выставка.., 1959) и ряд других. В основу всех перечисленных приборов положен принцип регистрации усилия, необходимого для отрыва штампа (металлической пластины) от грунта после передачи на него предварительной прижимающей нагрузки. Серьезным недостатком большинства приборов является использование в их конструкции стальных пружин, служащих для создания и регистрации отрывающего усилия, которые с течением времени дают искаженные результаты. Кроме того, дополнительные конструктивные узлы, необходимые для передачи на штамп прижимающих усилий, в значительной степени усложняют как сами приборы, так и процесс определения липкости грунтов с их помощью.

Целью настоящей работы явилась разработка конструкции полевого прибора для определения липкости почв и грунтов, лишенного перечисленных недостатков и удовлетворяющего основным положениям новой методики. Такой прибор, на наш взгляд, должен отвечать следующим требованиям: 1) дать возможность производства определений в услови-

ях естественного залегания грунтов; 2) обладать максимальной скоростью определений; 3) иметь достаточную точность определений; 4) быть компактным и транспортабельным.

Прибор, отвечающий в основном указанным требованиям, создан в лаборатории грунтоведения Геологического факультета Московского государственного университета (рис. 1). Он состоит из полуразрезного корпуса 1 в виде полой трубы, один из концов которой помещен в направляющую пятю 2 с зацепами 3. На второй конец навинчена гайка 4 подвижной трубы 5 с направляющими шайбами 6, двумя заплечниками 7

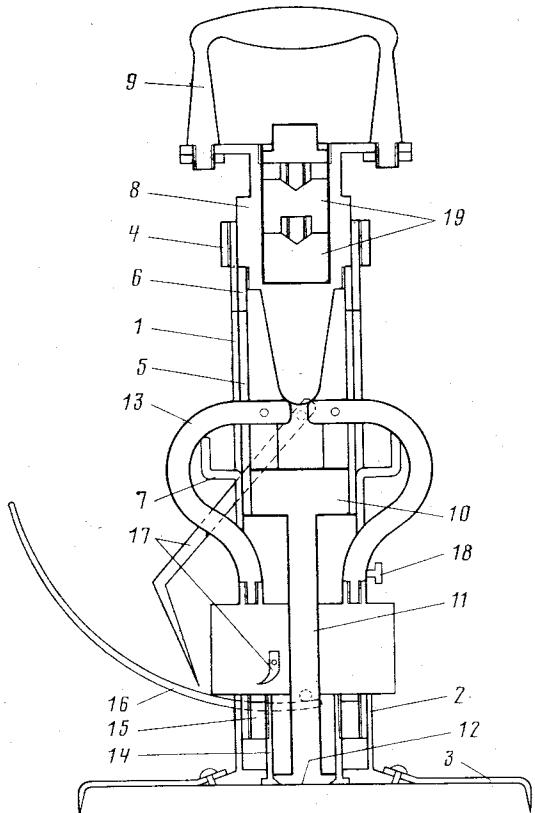


Рис. 1. Общая схема прибора ППЛ-1

и внутренней резьбой на верхнем конце для соединения с нажимным конусом 8, имеющим рукоять 9. Прочие детали: нажимной шток 10; удлиняитель 11; штамп 12; рычаги-грузы 13; штамповое кольцо 14; крепежная шайба 15; дугообразная шкала 16; указатель-стрелка 17; стопорный винт 18; сменные грузы 19.

Как видно из описания, в приборе отсутствуют пружины, а передача прижимающей нагрузки и отрывающего усилия производится с помощью рычагов-грузов, что обеспечивает простоту конструкции и позволяет получать стабильные результаты. Схемы передачи внешней нагрузки и отрывающего усилия показаны на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2, внешняя прижимающая нагрузка передается через рукоять на нажимной конус, который нижней частью упирается в короткие плечи рычагов-грузов, соединенные шарнирно со штампом, и отклоняет их на некоторый угол. При этом усилие, создаваемое исследователем, образует момент сил, равный $\frac{1}{2}Pl$. Компенсирующий момент,

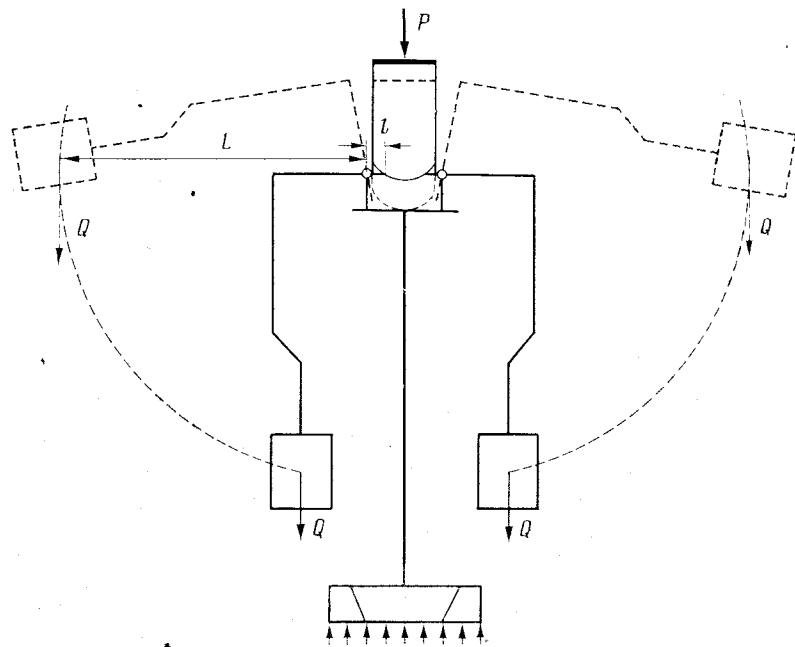


Рис. 2. Схема передачи прижимающей нагрузки

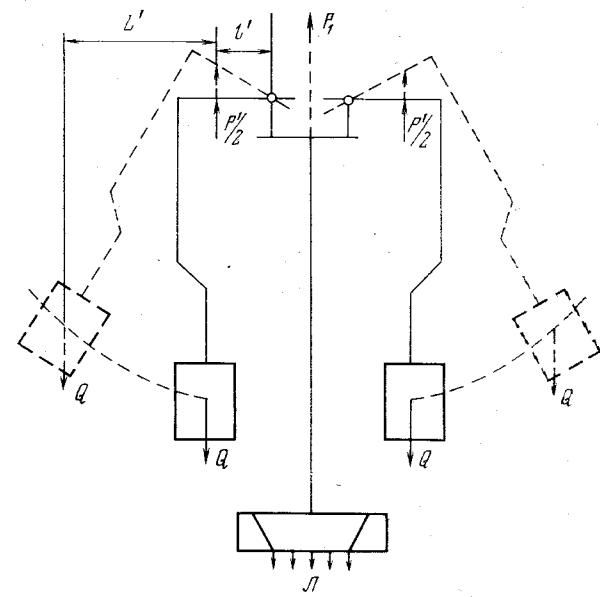


Рис. 3. Схема передачи отрывающего усилия

равный $2QL$ (Q — вес рычагов-грузов, L — длина большого плеча), противоположен по знаку, поэтому на каждую шарнирную ось действует усилие, равное $(\frac{1}{2}P+Q)$, а на штамповую группу $(P+2Q)$. Поскольку вес рычагов-грузов (Q) постоянен, то для увеличения прижимающей штампами нагрузки необходимо лишь возрастание усилия P . На самом деле при повороте рычагов-грузов длина малого плеча уменьшается, а большого — возрастает, следовательно, для сохранения равновесия системы

необходимо, чтобы $\Sigma M = QL - \frac{1}{2}Pl = 0$, а это возможно лишь при увеличении усилия P . Таким образом, каждому отклонению рычагов-грузов соответствует определенная прижимающая нагрузка, количественное выражение которой получают по шкале нагрузок непосредственно в H/m^2 .

Если затем на рукоять передать усилие в противоположном направлении (рис. 3), то подвижная трубка, жестко связанная с нажимным конусом и рукоятью, упрется своими заплечиками в рычаги-грузы и заставит их отклониться на некоторый угол. При этом точками опоры будут служить заплечики, а шарнирные соединения рычагов-грузов выполнят роль крепления последних со штампом. Возникающий при передаче отрывающего усилия крутящий момент $2QL'$ компенсируется моментом $2l(P_1 + L)$, где P_1 — вес штамповой группы, L — усилие, вызванное прилипанием грунта к штампу. Поскольку вес штамповой группы постоянен, то различные углы отклонения рычагов-грузов обусловливаются лишь разными значениями компоненты L , числовое значение которой определяют по шкале липкости непосредственно в H/m^2 .

Вышеописанное конструктивное решение прибора позволяет значительно упростить и ускорить процесс определений липкости при условии получения стабильных результатов.

Тарировка прибора заключается в нанесении на дугобразную шкалу 16 шкал липкости и нагрузок. Для получения первой шкалы необходимо установить прибор на горизонтальном столе, имеющем отверстие не менее 15 мм. Потянуть за рукоять, увеличивая усилие до тех пор, пока не прекратится отклонение рычагов-грузов. Затем отметить на шкале нуль липкости, ввинтить тарировочный штамп в тарировочную подвеску (эти детали предусмотрены в конструкции прибора) и уложить на нее гирю весом 0,1 кг, вновь потянуть за рукоять прибора и отметить на шкале максимальное отклонение рычагов-грузов. Операцию повторять каждый раз, увеличивая вес гирь на 0,1 кг до 2,5—3 кг.

Для тарировки шкалы нагрузок необходимо снять рукоять прибора и на площадку нажимного конуса уложить гирю весом 0,5 кг. Отметить на шкале максимальное отклонение рычагов-грузов. Увеличивать вес гирь на 0,5 кг до 20 кг, что дает возможность получить шкалу нагрузок с наибольшим значением (до 2 H/m^2).

Работа на приборе состоит в следующем:

1. Выбирают горизонтальный участок грунта, величину липкости которого необходимо определить.

2. Переводя прибор из транспортного положения в рабочее, поворачивают винт-фиксатор, освобождают рычаги-грузы, нажатием на рукоять разводят их и опускают дугобразную шкалу в положение, указанное на рис. 1.

3. Устанавливают прибор на выбранный участок грунта и задавливают зацепы направляющей пяты в грунт.

4. Нажимают на рукоять прибора, фиксируя по шкале нагрузок и стрелке-указателю необходимое отклонение рычагов-грузов. Величину прижимающей нагрузки и время ее действия выбирают согласно требованиям решаемой задачи.

5. Плавно уменьшают усилие на рукояти до тех пор, пока рычаги-грузы не примут первоначального положения. При этом стрелка-указатель достигнет нулевого значения по шкале нагрузок.

6. Передают усилие на рукоять вверх и фиксируют максимальное отклонение рычагов-грузов по шкале липкости. Это и есть искомая величина липкости испытуемого грунта при данной его влажности и выбранном значении прижимающей нагрузки.

В заключение следует сказать, что время, необходимое для производства одного определения на разработанном приборе, сокращено до 3—

5 сек при постоянной точности в $5 \times 10^2 H/m^2$. Небольшой вес прибора (~ 3 кг) и малые габариты (25×10 см) делают его весьма удобным в полевых условиях.

Московский государственный
университет
Геологический факультет

Поступила в редакцию
30.XI.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Калачев В. Я. Новая методика изучения липкости грунтов. Изд-во МГУ, 1975.
Калачев В. Я., Трофимов В. Т. О новом приборе для определения липкости грунтов.—
Вестн. МГУ. Сер. геол., 1973, № 1.
Кондра А. С. Исследование липкости грунтов.— Изв. Вузов. Строительство и архитектура, 1961, № 4.
Международная передвижная выставка приборов и средств измерений, применяемых при исследованиях в сельскохозяйственных научных учреждениях. Каталог «Приборы для исследований по земледелию». М., Сельхозгиз, 1959.
Розен М. Ф. Полевой прибор для определения прилипаемости грунтов.— Почвоведение, 1936, № 2.

ГАЛАЙ Б. Ф., ЛЫСЕНКО М. П.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ
НА ВЫБОР И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОПРОСАДОЧНЫХ
МЕРОПРИЯТИЙ**

До настоящего времени состав и свойства лёссовых грунтов недостаточно учитываются при выборе и разработке методов борьбы с их просадочностью. Рекомендуемые меры (Руководство по проектированию оснований, 1977) борьбы с просадочностью лёссовых грунтов разнообразны: методы технической мелиорации грунтов, предотвращение замачивания, усиление конструкций сооружений, прорезка просадочной толщи опорами и т. д.

Методы технической мелиорации предусматривают механическое уплотнение или физико-химическое закрепление лёссовых грунтов. При механическом уплотнении естественные структурные связи нарушаются, образуются новые связи, преимущественно коагуляционного характера, сложение грунта становится более компактным, число контактов между частицами увеличивается. Физико-химическое закрепление проводится созданием новых водостойких, преимущественно кристаллизационно-конденсационных связей без существенного изменения пористости лёссовых грунтов.

Механическое уплотнение наиболее эффективно применять при так называемой оптимальной влажности, близкой к нижнему пределу пластиичности. При поверхностном трамбовании и устройстве грунтовых свай большое содержание воды препятствует уплотнению, поскольку динамические нагрузки не могут отжать воду из пор грунта. Уплотнение происходит только за счет удаления воздуха и некоторого сближения грунтовых частиц.

Значительную часть общей просадки составляет так называемая «последопросадочная» деформация, происходящая спустя некоторое время после замачивания грунта. Чем продолжительнее процесс замачивания, тем более выражена эта деформация. При уплотнении предварительным замачиванием лёссовую толщу стараются увлажнить до полного водонасыщения, при котором в максимальной степени ослабляются структурные связи грунта.

Необходимо различать два взаимосвязанных процесса — увлажнение, с одной стороны, и просадку либо дополнительную осадку грунта — с другой. Эти процессы зависят от разных факторов. Степень увлажнения зависит от характера пористости и водопроницаемости лёссовых грунтов, консолидация осадки — от многих факторов, в том числе от водостойкости и деформации ползучести структурных элементов. Процесс консолидации осадки обычно сдвинут по времени и отстает от процесса замачивания. Это обстоятельство совсем не учитывает «Руководство по проектированию оснований...» (1977), согласно которому для полного устранения просадочности назначается ограниченная норма воды, достаточная только для кратковременного водонасыщения просадочной толщи.

Опыты по замачиванию лёссов в Ставропольском крае показали, что для достижения условной стабилизации просадочной деформации (1 см в неделю) необходимо профильтировать в 2—3 раза больше воды, чем рекомендуют строительные нормативы. После насыщения просадочной толщи водой и прекращения замачивания происходит сравнительно быстрое стекание гравитационной влаги вниз и лишь частичное (до 20—30%) проявление потенциально возможной просадки. Для насыщения просадочной толщи в зависимости от ее мощности и пористости грунтов обычно требуется профильтировать от 4 до 8 м³ воды на 1 м² площади котлована, а для устранения просадочности соответственно от 8 до 24 м³/м².

Значительный сдвиг во времени между промачиванием и просадочной деформацией должен наблюдаться в лёссовых грунтах, обладающих хорошей водопроницаемостью, но с медленно и неполно разрушающимися в процессе увлажнения структурными, преимущественно кристаллизационными связями. Подобные грунты требуют и больших норм воды для устранения просадочности методом замачивания.

Для ускорения предстроительного замачивания лёссовых толщ мощностью более 15 м «Руководство по проектированию оснований...» (1977) рекомендует применять дренирующие скважины, расположенные на расстоянии 3—5 м друг от друга. Опытно-производственное замачивание лёссов Восточного Ставрополья, имеющих слабоводостойкие структурные связи, показало недостаточную эффективность данного метода. Вокруг скважин при фильтрации воды образуются суффозионные воронки и полости размыва, устройство скважин вызывает перерасход воды и ускоренный сброс ее в нижние непросадочные слои. Бурение скважин приводит к задержке и удорожанию строительства. По нашему мнению, дренирующие скважины более эффективны в комплексе с глубинными взрывами, ускоряющими процесс просадки после предварительного промачивания грунта (метод И. М. Литвинова).

Поверхностное трамбование грунтовых свай относится к энергоемкому механическому уплотнению, которое происходит за счет энергии механизмов в условиях частичного увлажнения грунта. При полном замачивании предстроительная просадка протекает под действием силы тяжести увлажненного грунта. В этом случае небольшая величина напряжения на контактах частиц, обусловленных только весом увлажненного грунта, и наличие в его порах связанной воды, обладающей повышенной вязкостью, препятствует гравитационному уплотнению лёссовых грунтов.

В последнее время получили распространение комплексные способы уплотнения, в которых замачивание сочетается с вибрационным или динамическим воздействием (гидровиброплотнение, гидровзрывной и электроискровой методы). Под действием ударных импульсов частицы грунта получают кинетическую энергию; структурные связи, ослабленные в условиях повышенной влажности, нарушаются. Под действием искусственных импульсов и силы тяжести происходит более плотная переукладка структурных элементов грунта, увеличивается количество коагуляционных связей, создаются предпосылки для последующего тиксотропного упрочнения грунта.

Имеющиеся данные (Литвинов, 1977; Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве, 1974) позволяют утверждать, что при прочих равных условиях гидровзрывы, вибрационное и электроискровое уплотнение эффективнее в собственно лёссах, характеризующихся слабыми водостойкими связями, чем в лёссовидных средних и тяжелых суглинках, имеющих более глинистый состав и относительно пластифицированные структурные связи.

Недостаточно изучен вопрос о возможности колматации лёссовых грунтов глинистыми и цементными супензиями как о способе борьбы с

просадочностью. Границы применения этого способа в должной мере обоснованы (Шеховцов, 1966; Сенокосов, 1966). Глинизация лёссовых пород так же, как и механическое уплотнение, направлена на уменьшение пористости. Кроме того, при глинизации структурным связям придается пластифицированный характер и уменьшается водопроницаемость грунта. Обработка цементными сусpenзиями приводит к уменьшению пористости и к упрочнению структуры за счет создания водостойких связей.

Эффективными средствами борьбы с просадочностью являются силикатизация и термическое упрочнение (обжиг) лёссовых пород. Опыт применения этих методов указывает на необходимость учета литологических особенностей грунта. Так, в строительных нормативах (Руководство по производству и приемке работ, 1977) рекомендуется считать термическое упрочнение законченным, если достигнута температура грунта не менее 300°С. Между тем исследования, выполненные в Северо-Кавказском отделении ПНИИИС, свидетельствуют, что лёссы Центрального и Восточного Предкавказья после обжига при 300—400°С под действием воды быстро размокают и обнаруживают просадочность. Это обстоятельство объясняется незначительным (до 15%) содержанием глинистой фракции в лёссеах и ее каолинитово-гидрослюдистым составом. В лёссовых толщах Предкавказья часто встречаются прослои просадочных недоуплотненных песков, которые не поддаются термическому закреплению даже при температуре 700—800°С. Несомненно, что термическое закрепление более эффективно в лёссовидных суглинках и глинах, содержащих 30—40% глинистых частиц и повышенное количество монтмориллонита и легкорастворимых солей, играющих роль «плавней». Подобные грунты приобретают водостойкость даже при прогреве до 200°С (Гончарова, 1973).

Границами применения метода однорасторвной силикатизации лёссовых грунтов являются коэффициент фильтрации не менее 0,2 м/сут, степень влажности не более 0,7 и емкость поглощения в щелочной среде не менее 10 мг-экв на 100 г сухого грунта. В случае применения углекислого газа указанные границы могут быть несколько «сдвинуты» в неблагоприятную сторону (Руководство по производству и приемке работ, 1977). Эффект закрепления однорасторвной силикатизацией зависит от гранулометрического состава и гидрофильтрости грунтов, ориентированное представление о которых можно получить по верхнему пределу или числу пластичности. Вызывает сомнение целесообразность использования емкости поглощения как критерия применимости метода однорасторвной силикатизации. Емкость поглощения сама является функцией удельной поверхности и состава глинистых минералов.

Выполненные нами исследования показали, что при движении силикатных растворов в лёссеах естественного сложения за фронтом движущегося раствора наблюдается зона ослабления структурных связей, характеризующаяся пониженной прочностью. Это явление отмечается и при закреплении воздушно-сухих грунтов. Следовательно, оно не связано с разбавлением силикатного раствора поровой влагой и может быть, вероятно, объяснено уменьшением концентрации раствора за счет поглощения закрепляющего компонента в приинъекционной зоне. Таким образом, простое насыщение грунта раствором не дает равнопрочного пространственного закрепления. В наших опытах для однородного закрепления лёссового образца требовалось профильтировать 3—5-кратное количество раствора по отношению к объему грунта.

Выявлено, что прочность закрепления в большей степени зависит от содержания глинистой фракции, которая в значительной мере определяет емкость поглощения лёсса. Приведем следующий пример. Лёсс из района г. Буденновска, имеющий степень влажности 0,10, пористость 0,46, содержание глинистой фракции 15% и емкость поглощения

20 мг-экв на 100 г грунта, после закрепления силикатными растворами плотностью 1,04; 1,08; 1,12 и 1,16 г/см³ обнаружил удельное сопротивление penetрации соответственно 0,5; 1,5; 1,8 и 2,0 МПа. Лёссовидный суглинок из г. Георгиевска со степенью влажности 0,14, пористостью 0,39, содержанием глинистой фракции 35% и емкостью поглощения 59 мг-экв на 100 г после закрепления теми же растворами получил прочность 0,2; 0,3; 0,5 и 0,6 МПа. Как видно, с повышением емкости поглощения прочность закрепленного лёссового грунта понизилась. Таким образом, влияние емкости поглощения на эффект закрепления требует дальнейших исследований.

Лабораторные исследования показали, что лёссовидные суглинки Центрального и Восточного Предкавказья под нагрузкой 0,3 МПа при замачивании их силикатными растворами невысокой плотности (до 1,10—1,13 г/см³) в некоторых случаях обнаруживают дополнительную осадку. Величина ее меньше, чем при замачивании водой, однако эту деформацию необходимо учитывать при закреплении грунтов под аварийными зданиями.

Ю. М. Абелев и М. Ю. Абелев (1968) утверждают, что при закреплении основания под Одесским оперным театром в период силикатизации возобновилась осадка здания и к моменту окончания работ в отдельных местах она достигла 6 см. Отмечается также возрастание деформаций сразу же после силикатизации грунтов под некоторыми аварийными зданиями (Зурнаджи, Филатова, 1970). Аналогичное явление наблюдалось нами в г. Георгиевске Ставропольского края после неудачных попыток закрепить способом силикатизации замоченные до пластичной консистенции лёссовидные суглинки под фундаментами двух аварийных домов.

В качестве примера, учитывающего литологические особенности грунтов при выборе метода борьбы с просадочностью, может служить гидровзрывное уплотнение мощной (25—30 м) толщи лёссов в г. Буденновске (Галай и др., 1977). Успешному применению гидровзрывного способа в данных условиях способствовали легкий гранулометрический состав пород, слабая водостойкость структурных связей, однородность литологического состава по глубине и по простианию, отсутствие прослоев малопроницаемых пород, высокая пористость и соответственно значительная водопроницаемость грунтов, быстрый сброс избыточной гравитационной воды, угол дневной поверхности и уровня грунтовых вод в сторону степного озера. Все эти факторы способствовали быстрому протеканию просадочной деформации после взрыва. Просадка в данном случае достигала 250—270 см и стабилизация ее наступила через 25—30 сут.

Аналогичный опыт, проведенный в районе г. Георгиевска (Дворец Культуры в станице Новопавловской) показал, что в средних лёссовидных суглинках, обладающих просадочностью до глубины 10—15 м и подстилаемых малопроницаемыми грунтами, стабилизация просадки также наступает примерно через месяц при общей величине ее до 40—60 см. В этих условиях целесообразно замочить и уплотнить взрывами сначала верхнюю (60—75%) часть просадочной толщи, не допуская полного ее промачивания, а нижние, обычно малопросадочные слои будут уплотнены под собственным весом грунта при сбросе избыточной влаги после взрывов. В тех случаях, когда мощную просадочную толщу подстилают слабопроницаемые грунты, применять обычное предстроительное замачивание не эффективно, так как оно надолго задерживает подготовку оснований.

Метод замачивания в сочетании с глубинными взрывами оказался в технико-экономическом отношении весьма эффективным для многих районов Северного Кавказа. Этот вариант по сравнению с грунтовыми сваями, которые широко применяют на Украине и в г. Тольятти, толь-

ко для одного из объектов г. Буденновска дал экономию 1,5 млн. руб. (Галай и др., 1977). Технико-экономическое сравнение методов выполнили Ставропольский Промстройпроект и НИИСК Госстроя СССР.

При строительстве крупного хлебозавода в г. Буденновске был применен новый способ гидровзрывного уплотнения, разработанный в Северо-Кавказском отделении ПНИИС Госстроя СССР (Галай, Замковой, 1978). По сравнению с обычным замачиванием экономический эффект составил 4,5 тыс. руб., с известным методом НИИСКа — 51 тыс. руб., а с технически равноценным вариантом грунтовых свай — не менее 230 тыс. руб.

Перепроектирование обычного замачивания на уплотнение просадочных грунтов гидровзрывами по методу ПНИИС на двух сельскохозяйственных комплексах в станице Новопавловской дало экономию в 60 тыс. руб. за счет значительного сокращения расхода воды.

Применение указанного метода в соответствующих грунтовых условиях позволит сэкономить десятки млн. руб.

Выводы

1. Имеющиеся данные убедительно свидетельствуют о большом влиянии состава и свойств лессовых грунтов на выбор и эффективность применения противопросадочных мероприятий. Установлено, что действующие строительные нормативы недостаточно учитывают некоторые существенные особенности просадочных грунтов.

2. Необходимы дальнейшие исследования региональных особенностей состава, структуры и свойств лессовых грунтов как важнейших факторов, влияющих на эффективность, оптимальные границы и область применения различных противопросадочных мероприятий. Выбор метода устранения просадочности диктуется прежде всего инженерно-геологическими условиями. На примере гидровзрывного метода показано, что правильный учет инженерно-геологических факторов при подготовке оснований на лессовых грунтах позволяет получить значительную экономию.

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве
(Северо-Кавказское отделение)
Ленинградский государственный университет

Поступила в редакцию
10.XI.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Абелев Ю. М., Абелев М. Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. М., Стройиздат, 1968.
Галай Б. Ф. и др. Опыт уплотнения просадочных грунтов большой мощности ускоренным замачиванием и энергией взрывов. Реф. инф. Инженерно-геол. исслед. в связи со строительством на Северном Кавказе, серия XV, вып. 10 (63). М., ЦНИИС Госстроя СССР, 1977.
Галай Б. Ф., Замковой А. Г. Новый способ гидровзрывного уплотнения просадочных грунтов большой мощности при строительстве промышленных зданий. Ставропольский ЦНТИ, Информ. листок № 84—78, 1978.
Гончарова Л. В. Основы искусственного улучшения грунтов. Изд-во МГУ, 1973.
Закрепление и уплотнение грунтов в строительстве (Материалы VIII Всесоюзного съезда). Киев, «Будивельник», 1974.
Зурнаджи В. П., Филатова М. П. Усиление оснований и фундаментов при ремонте зданий. М., Стройиздат, 1970.
Литвинов И. М. Укрепление и уплотнение просадочных грунтов в жилищном и промышленном строительстве. Киев, «Будивельник», 1977.
Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. М., Стройиздат, 1977.
Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1977.
Сенокосов В. П. Укрепление лессовидного грунта цементным раствором.—Основания, фундаменты и механика грунтов, 1966, № 6.
Шеховцов В. С. Изменение физико-механических свойств лессовых грунтов при глинизации.—Мат. V Совещ. по закреплению и уплотнению грунтов. Новосибирск, 1966.

МЕЛЬНИКОВ П. И., ГРАВЕ Н. А.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ МЕРЗЛОТОВЕДОВ

В Канаде в г. Эдмонтоне с 10 по 14 июля 1978 г. состоялась III Международная конференция по мерзлотоведению (III МКМ). Организатором конференции являлся Национальный исследовательский совет Канады при участии представителей федеральных и провинциальных министерств, университетов и частных промышленных предприятий. Председателем оргкомитета был доктор Р. Браун, научный сотрудник Национального исследовательского совета Канады.

Для подготовки участия в конференции советских специалистов при Научном совете по криологии Земли АН СССР был создан Национальный оргкомитет под председательством члена-кор. АН СССР П. И. Мельникова. Этим оргкомитетом были отобраны и представлены на конференции доклады советских специалистов. Советская делегация на конференции была представлена 13 делегатами от различных ведомств и министерств и 17 научными туристами. Руководителем делегации был член-кор. АН СССР П. И. Мельников. В состав делегации также входили: канд. наук В. Г. Архангельский (Ленинградский инженерно-строительный ин-т Минвуз РСФСР), Л. П. Батозский (главный инженер Южногипрогаза Мингазпрома СССР), проф. С. С. Вялов (НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР), докт. наук Н. А. Граве (Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР), А. Г. Дралкин (Государственный комитет по науке и технике при СМ СССР), канд. наук Г. П. Дубиков (Производственный и научно-исследовательский ин-т инженерных изысканий в строительстве Госстроя СССР), канд. наук Е. А. Ельчанинов (Ин-т горного дела им. Скочинского Минуглепрома СССР), докт. наук Н. Н. Романовский (МГУ Минвуз СССР), канд. наук Л. П. Семенов (ВНИИ трубопроводов Миннефтегазстроя СССР), докт. наук З. Г. Тер-Мартиросян (Московский инженерно-строительный ин-т Минвуз СССР), А. С. Цуриков (ВНИИ трубопроводов Миннефтегазстроя СССР), докт. наук П. Т. Шмыгия (ТюменьНИИ гипрогаз Мингазпрома СССР).

В группу научного туризма входили научные работники, руководители лабораторий Института мерзлотоведения СО АН СССР, Минвуз СССР, институтов Миннефтегазстроя и Госстроя СССР.

Всего на III МКМ присутствовало более 350 человек, в том числе из Канады — 178; США — 90; СССР — 30; Японии — 11; ФРГ — 6; Норвегии — 3 и по 1—2 человека из Франции, Англии, Швеции, Голландии, Дании, Польской Народной Республики. В конференции участвовали также представители КНР (10 человек), среди которых были и выпускники кафедры мерзлотоведения и кафедры инженерной геологии МГУ и Ленинградского горного института.

Работа конференции проходила на пленарных заседаниях и технических секциях. На пленарных заседаниях было заслушано семь обзорных докладов, посвященных следующим темам: 1) влияние геологических факторов на происхождение, характеристики и распределение

подземных льдов; 2) анализ природных условий местности и телеметрического исследования мерзлых грунтов; 3) проектирование и строительство трубопровода на Аляске; 4) гидрогеология районов распространения многолетнемерзлых пород; 5) растительность в районах странения вечной мерзлоты; 6) проектирование и работа фундаментов в области вечной мерзлоты; 7) нарушение природных условий местности и температурный режим грунтов.

Два из этих докладов (№ 4 и 6) были подготовлены советскими учеными (П. И. Мельников и С. С. Вялов), один доклад (№ 1) — совместно канадскими и советскими учеными (Дж. Р. Маккей, В. Н. Конищев и А. И. Попов), один доклад (№ 7) — американскими и советскими учеными (Дж. Браун и Н. А. Граве) и три доклада (№ 2, 3, 5) — канадскими и американскими учеными.

Доклады на технических секциях касались следующих направлений:

1. Общее мерзлотоведение — температура, тепловой баланс, физика и химия, гидрогеология, история, региональные особенности вечной мерзлоты и экологические аспекты естественных и нарушенных участков поверхности.

2. Инженерное мерзлотоведение — инженерно-геологические изыскания для строительства, теплофизические проблемы, физико-механические свойства мерзлого, замерзающего и оттаивающего грунта, инженерно-геологические вопросы строительства и эксплуатации сооружений на мерзлом грунте, вопросы коммунального хозяйства, горного дела и транспорта газа на Севере.

Всего на технические секции было представлено 143 доклада, в том числе 49 докладов советских специалистов. Советские доклады были представлены следующими организациями: МГУ им. М. В. Ломоносова Минвуза СССР, Производственным и научно-исследовательским институтом инженерных изысканий в строительстве, НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова и Ленинградским зональным научно-исследовательским институтом экспериментального проектирования Госстроя СССР, Гидропроектом им. С. Я. Жука, Ленгидпроектом Минэнерго СССР, Технологическим институтом холодильной промышленности Минвуза РСФСР, Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства, Ленгипротрансом Минтрансстроя СССР, Институтом горного дела им. А. А. Скочинского Минуглепрома СССР, Ленинградским горным институтом им. Г. В. Плеханова Минвуза РСФСР, ВСЕГИНГЕО Мингео СССР, ВНИИ трубопроводов Миннефтегазстроя СССР, Институтом мерзлотоведения СО АН СССР и Тихоокеанским институтом географии ДВНЦ АН СССР. Все доклады, за исключением пленарных, были опубликованы в Канаде до конференции в специальном томе (1), пленарные доклады будут изданы позднее (2, 3). Члены делегации приняли активное участие в работе конференции, ознакомились с экспонатами выставок, организованных на конференции. На этих выставках экспонировались приборы и аппаратура для проведения полевых и лабораторных исследований вечномерзлых грунтов, некоторые результаты таких исследований, оборудование и транспортные средства, применяемые при строительстве на Севере. В перерывах между заседаниями демонстрировались кинофильмы по строительству трубопроводов на Севере.

После окончания конференции часть советских делегатов участвовала в двух наиболее интересных полевых научно-технических экспедициях в северные районы Канады, преследовавших цель ознакомить участников конференции с новейшими достижениями в области мерзлотоведения и строительства на многолетнемерзлых грунтах. В экспедиции в долину нижнего течения р. Маккензи приняли участие делегаты Н. А. Граве и А. Г. Дралкин. В экспедиции в северную Манитобу — Ки-ватин приняли участие П. И. Мельников, Л. П. Семенов, А. С. Цуриков,

Е. А. Ельчанинов. После возвращения с полевых экскурсий делегаты ознакомились с работой научно-исследовательских организаций в Оттаве и посетили лаборатории и институты Национального исследовательского совета Канады, Министерства энергетики, недр и ресурсов (Геологическая служба Канады и др.) и участвовали во встречах с видными мерзлотоведами Канады. 30 июля делегаты возвратились в СССР. Конференция и полевые научные экскурсии были организованы очень хорошо и четко и проходили в деловой обстановке. В настоящей информации нет возможности охарактеризовать все доклады, сделанные на конференции. Поэтому кратко остановимся на тех, которые касаются новейших проблем, поставленных перед мерзлотоведением за последние годы, и представляют для нас наибольший интерес.

Освоение арктического шельфа и прилегающей части побережья. В докладах канадских геофизиков И. А. Хантера, К. Г. Нива, Х. А. Мак-Олей и Г. Д. Хобсона и американских исследователей И. К. Роджерса и И. П. Морана были приведены данные сейсмического зондирования шельфа моря Бофорта и залива Прудхо (Аляска), которые впервые позволяют оконтурить распространение многолетнемерзлых пород на дне указанных водоемов. В докладах были приведены различные методы интерпретации данных зондирования, сопоставляемые с данными непосредственных наблюдений при бурении скважин. Интересны результаты исследования физико-механических свойств (основные свойства, прочность на трехосное сжатие, уплотнение и фильтрационные свойства) многолетнемерзлых грунтов на дне залива Прудхо, сообщенные в докладе Э. И. Чемберлена, Р. К. Селлмана и Е. Б. Скота (США). В наиболее удаленной от берега части дна (около 17 км) обнаружена сверхплотная глина, уплотнение которой связано с процессами промерзания и протаивания. В докладе И. К. Искаdera, Т. Е. Остеркампа и У. Д. Харрисона были приведены результаты исследования химических свойств поровой воды в тех же грунтах.

Значительный интерес представил доклад канадского геолога В. К. Шаха об исследованиях отступания морского берега, сложенного мерзлыми породами и подземным льдом на побережье моря Бофорта, и о предложенных берего-укрепительных сооружениях. Строение относительно невысокого берега здесь сходно с берегами на севере Якутии, где термоэрзационные процессы изучены советскими исследователями. Укрепляющие берег сооружения призваны сократить ударную силу волн и теплоизолировать береговой уступ от действия солнца. Довольно дорогостоящее (1500 долл. на 1 м береговой линии) сооружение рассматривается как эксперимент для дальнейших разработок и является первым опытом в Арктике.

Результаты исследований береговых процессов на севере Аляски изложены в докладе И. Р. Хардера, Е. Х. Оуэнса и У. И. Уайземана (США). Исследованиями были установлены зависимости скорости и глубины протаивания почв и грунта от их минерализации, а также от влияния волн и теплового воздействия воздуха.

Геокриологическая характеристика арктического шельфа в советском секторе Арктики была дана в докладе Ф. Э. Арэ (СССР).

Охрана окружающей среды: Этой проблеме были посвящены два пленарных доклада и несколько секционных.

Дж. Браун (США) и Н. А. Граве (СССР), а также Л. К. Блесс (Канада) дали подробный обзор и анализ состояния проблемы нарушения поверхности области вечной мерзлоты при освоении местности в северном полушарии и Антарктиде, привели результаты наиболее значительных исследований в этой области, охарактеризовали ряд природоохранных мероприятий, в том числе (Л. К. Блесс) рассмотрели вопросы рекультивации нарушенных участков и дали рекомендации по дальнейшим исследованиям.

Проблема распространения и происхождения подземных льдов, тесно связанная с проблемой устойчивости поверхности, была освещена в обзорном коллективном докладе, сделанном проф. Р. Маккеем (Канада), проф. А. И. Поповым и В. Н. Конищевым (СССР), дополненном докладом Б. И. Втюрина (СССР), представившим новую схему развития подземных льдов на северо-востоке СССР.

Большой обзорный доклад американских ученых был сделан на тему о проектировании и строительстве горячего нефтепровода, действующего в настоящее время на Аляске.

Ряд докладов был посвящен частным вопросам взаимодействия различных факторов, влияющих на характер вечной мерзлоты, что имеет непосредственное значение для решения проблемы охраны среды.

В докладах советских ученых были подробно рассмотрены проблемы теплофизики ландшафтов Севера (А. В. Павлов), влияние освоения территории на тепловой баланс и влажностный режим грунтов (Н. Г. Москаленко, В. Б. Славин-Боровский, Ю. Л. Шур, Н. А. Лазарева, С. П. Малевский-Малевич).

В докладах американских ученых Р. Мак-Гау, С. Аутколта, Э. Ига, К. Эверетта, П. Вебера, Д. Уолкера, Р. Паркинсона, Д. Брауна, Л. Джонсона были рассмотрены вопросы, связанные с термальными свойствами и режимом водонасыщенных грунтов тундры в районе мыса Барроу (Аляска), приведены схема геоэкологического картирования прибрежных районов тундры и методы биологической рекультивации с учетом роли питательных веществ на субарктическом участке в районе г. Фербенкс (Аляска).

Большой интерес вызвала единая система геоэкологического карттирования прибрежных районов тундры Аляски, разработанная группой американских исследователей (доклад К. Эверетта и др.), позволяющая определять в заданном районе формы рельефа, геоморфологические элементы которого обусловлены составом и распределением грунтов и растительности. Преимущества разработанного метода карттирования дают возможность интегрировать большое количество разнообразной информации в относительно небольшое число легко определяемых элементов среды. Единая система позволяет также унифицировать составление карт чувствительности поверхности к деятельности человека.

Непосредственный интерес вызвал также доклад канадцев Э. Юнкина и Л. Хаттингера (Канада) о влиянии снежных дорог (зимников) на растительность и глубину летнего протаивания грунта.

Геокриологическое районирование и картирование. Впервые на международной конференции демонстрировалась схема районирования криолитозоны в СССР (В. А. Кудрявцев, К. А. Кондратьева, Н. Н. Романовский) в масштабе 1 : 15 000 000, составленная путем генерализации «Геокриологической карты СССР» в масштабе 1 : 2 500 000. Карта районирования освещает три признака мерзлой зоны: распространение по площади и глубине, изменение уровня теплообмена в горных породах и мощность мерзлой зоны. Как бы в развитие этой темы следует отметить доклад В. Т. Балобаева (СССР) о геотермических закономерностях мерзлой зоны, в котором автор интересно интерпретирует геотермические данные для реконструкции по ним палеоклимата. В докладе П. И. Мельникова и О. Н. Толстихина, сделанном на пленарном заседании, были обобщены материалы по гидрогеологии области вечной мерзлоты СССР. В докладах П. Ф. Швецова и А. Б. Чижова (СССР) была освещена роль литолого-петрографических и морфометрических характеристик горных пород и высокоминерализованных подземных вод в водообмене в мерзлых толщах и в глубоком охлаждении литосферы. В докладе Г. И. Дубикова (СССР) обоснован новый вариант южной

границы вечной мерзлоты между Уралом и Обью, где она смещена по широте на 1,5—2° южнее всех предыдущих вариантов.

В связи с тем, что существование многолетнемерзлых пород в значительной степени зависит от местных факторов, многие доклады были посвящены изучению их отдельных параметров. Например, Д. Коуэлл и др. (Канада) обследовали торфяники в южной части Гудзонова залива, Д. Ренни и др. (Канада) в районе поселка Форт-Симпсон изучали роль торфяников, залесения, экспозиции склонов и пр. на формирование многолетнемерзлых пород. Ф. Никольсон (Канада) провел исследования в районе г. Шеффервилл для целей геокриологического прогноза, а Р. Хауген и Д. Браун (США) использовали дендроклиматические показатели для сопоставления летних температурных условий на территории всей центральной Аляски.

Довольно большое внимание было уделено высокогорной вечной мерзлоте. Новейшую сводку по территории гор Средней Азии привел в своем докладе А. П. Горбунов (СССР).

В докладе С. Харриса и Р. Брауна (Канада) были подведены итоги двухлетних стационарных наблюдений за температурным режимом мерзлых пород в скважинах глубиной 15—30 м, которые были пробурены в Скалистых горах Канады под $50^{\circ}30'$ с. ш. в диапазоне абсолютных высот 2103—2519 м. Эти измерения позволили определить нижнюю границу прерывистой (2224 м) и сплошной (2270 м) вечной мерзлоты, а также рассчитать мощность мерзлой толщи, достигающей здесь более 100 м. В докладе Ю. Фуджин и К. Хигучи (Япония) на основе анализа опубликованных материалов и своих собственных исследований в Гималаях Непала была приведена оценка площадей вечной мерзлоты для гор Азии, Европы, Северной Америки. Доклады Д. Барша и В. Хеберли (ФРГ и Швейцария) были посвящены вечной мерзлоте и каменным глетчерам Альп. В докладе А. Корте (Аргентина) впервые была рассмотрена гидрологическая роль каменных глетчеров на примере Анд района Мендосы. В сообщении Ченг Куотунга (КНР) приведены данные о мерзлоте плато Цинхай.

Криогенные процессы наиболее глубоко были рассмотрены в докладах советских ученых. С. Е. Гречишев привел теоретические соображения, подтвержденные экспериментальным материалом, о механизме образования морозобойных трещин в грунтах. Классификацию таких образований привел в своем докладе Н. Н. Романовский. Развитие термокарста на северо-востоке СССР в историческом плане рассмотрено Г. Ф. Грависом. Процессы движения грунтов на склонах как в условиях вечной мерзлоты, так и в районах ее отсутствия были описаны А. Яном (ПНР).

Инженерное мерзлотоведение было представлено довольно большим количеством докладов как советских, так и зарубежных авторов. Основополагающим был обзорный доклад С. С. Вялова (СССР) о проектировании и работе фундаментов в области вечной мерзлоты, сделанный на пленарном заседании. Большой интерес вызвал также обзорный доклад А. Лигуори (США) о проектировании и строительстве действующего в данное время горячего нефтепровода на Аляске, зачитанный также на пленарном заседании. Подобный трубопровод построен и эксплуатируется в области вечной мерзлоты впервые.

В секционных докладах были приведены новые сведения по строительству дорог, сооружений, аэродромных покрытий, горных выработок, а также по очистке использованных вод в условиях многолетней мерзлоты. Значительный интерес представляет метод измерения природного энергетического баланса многолетнемерзлых грунтов (Ф. Никольсон, Канада). Этот метод может быть широко использован в шахтах для обеспечения устойчивости горных выработок, пройденных в многолетнемерзлых породах, а также при разработке систем регулирования

теплового режима воздушной струи в шахтах, расположенных как в многолетней мерзлоте, так и на более глубоких горизонтах. Внимание привлек также доклад Р. В. Максимяк, Е. П. Шушериной, В. В. Рогова, М. И. Заболоцкой (СССР), в котором на основании данных электронной микроскопии выявлены закономерности поведения мерзлых глинистых грунтов под нагрузкой при различных температурах.

Интересные материалы были представлены на выставке. Компания «Арктик Фаундэйшн Инкорпорейтед» (Анкоридж, Аляска) представила различные системы парожидкостных термосвай, в том числе применимые на Трансальянском нефтепроводе. Американская компания «Кроули Ойл Террайн Корпорейшн» (КАТКО) рекламировала трейлеры «Катко» на мягких роликах с низким давлением на грунт, которые предназначены для передвижения по местности со слабым покровом (тундра, болота, пустыня, высокий снежный покров и т. п.). Вездеход «Катко» является усовершенствованной конструкцией вездехода «Ролигон». Грузоподъемность одной платформы «Катко» составляет 30 т, давление на грунт — 0,2 кг/см², что обеспечивает вездеходу очень высокую проходимость с минимальным нарушением естественного покрова.

Научные экскурсии

Экскурсия в район долины нижнего течения р. Маккензи. Эта экскурсия, в составе которой приняли участие 27 человек (США, Канада, Франция, ФРГ, Дания, Япония и КНР), включая 2 делегатов СССР, в основном была посвящена опыту строительства и разведки нефти и газа в Арктике и Субарктике страны — в области сплошного распространения вечной мерзлоты и арктического шельфа и в области остроевого распространения вечной мерзлоты. Маршрут, начавшийся в Эдмонтоне 14 июля, пересекал с юга на север район Северо-Западных территорий и на Крайнем Севере захватывал территорию Юкон.

Основными пунктами, где участники знакомились с объектами, были: г. Йеллоунайф — центр Северо-Западных территорий, города Норман-Уэллс, Инувик, Туктояктук. Из указанных пунктов передвижение на объекты осуществлялось на самолетах СИ-47, вертолетах, каноэ, автобусах и автомашинах.

В Йеллоунайфе была осмотрена площадка с предварительным оттаиванием вечной мерзлоты, предназначенная для застройки города. Оттаивание грунта путем снятия почвенно-растительного покрова ведется муниципалитетом без научного обоснования, на собственный риск. Цель — возможно более дешевое и быстрое сооружение подземных коммуникаций для будущих зданий.

В Инувике, расположенном в долине р. Маккензи в области сплошной вечной мерзлоты, участники экскурсии познакомились с различными строительными объектами, а также методиками систематических наблюдений за температурой, влажностью и составом грунта. Были прослушаны лекции специалистов на тему о строительстве автострады, зданий и других сооружений и был получен материал, иллюстрирующий технические приемы строительства и мерзлотные условия осмотренных объектов. Город Инувик представляет собой пример, когда научные исследования, опережая строительство, были положены в основу технических решений. Место для города было выбрано 15 лет назад. Национальным исследовательским советом Канады.

Район Туктояктука, расположенного на побережье моря Бофорта, находится также в области сплошной вечной мерзлоты, часто содержащей мощные пласты подземного льда. Здесь расположена база исследований и разведки арктического шельфа. Участники экскурсии подробно ознакомились с методами и аппаратурой геофизических исследова-

ний. Были рассмотрены два небольших морских судна, на которых установлена геофизическая аппаратура для изучения шельфа. С их помощью были получены данные по распространению, глубине залегания, температуре и составу многолетнемерзлых пород на шельфе и в прибрежной части. Наибольшая мощность вечной мерзлоты в Канаде (730 м) зарегистрирована на арктических островах и на побережье Гудзонова залива. Здесь применяется комплекс методов. Сейсмические методы позволяют оконтуривать льдистые грунты, электромагнитное зондирование — определять мощность мерзлых пород, радарное зондирование — изучать структуру грунта до глубины 30 м. Гравитационное профилирование позволяет выявлять сегрегационный лед в грунте. Демонстрировалось также гидравлическое бурение скважин для термометрических измерений на небольшой глубине.

На побережье были осмотрены выходы пластового подземного льда, термоабразионное разрушение берегов, опытные площадки систематических наблюдений за термокарстом, динамикой бугров пучения (пинго), результаты искусственного спуска озер и др. Исследования проводят проф. Р. Маккей.

Бурение скважин для разведки нефти и газа на шельфе ведется с искусственных островов. Такие острова сооружены в открытом море в мелководной части шельфа моря Бофорта близ дельты р. Маккензи. Проектирование и строительство искусственных островов в этом районе осуществляла компания «Империал Ойл» (Канада). Местоположение скважин выбиралось по данным геофизических исследований. К настоящему времени здесь построено 17 искусственных островов в области морских глубин до 20 м. Эти острова спроектированы как временные сооружения, обеспечивающие устойчивое бурение только лишь разведочных скважин, способные оказывать сопротивление давлению морских льдов и воздействию волн в течение одного сезона.

Некоторые подробности об искусственных островах были сообщены представителем компании инженером Димитром Ларри с показом диапозитов с видом этих островов и схемой их расположения.

Искусственные острова достигают в диаметре около 100 м и слагаются из ила или гравия, также их основанием служат иногда затопленные баржи. Высота островов над уровнем моря не превышает 5—6 м. На мелких участках моря острова строятся путем гидронамыва песчаного грунта насосами, захватывающими грунт со дна. Для строительства на более глубоких участках грунт, обычно гравий, привозится на баржах с берега. Наличие вечной мерзлоты играет двойную роль: с одной стороны, она мешает захвату грунта со дна при намыве, с другой — она постепенно сковывает искусственный остров, промерзающий как снизу, так и сверху.

Для предохранения склонов островов от воздействия волн и льдин склоны укрепляются бермой из мешков с песком, доставляемых баржами с берега и укладываемых кранами. После того, как остров становится ненужным, мешки с песком с него забираются и переносятся на новый остров. Все оборудование демонтируется и увозится, так что остров, покинутый бурильщиками, постепенно разрушается волнами и льдинами. В иных случаях по краям острова намывается пляж, принимающий на себя удары волн и льдин. Стоимость одного острова в среднем достигает 5 млн. долл.

По мнению компании «Империал Ойл», строительство искусственных островов на шельфе для эксплуатационных скважин потребует научных исследований в области взаимодействия намытого грунта с подводной вечной мерзлотой в связи с возможностью ее деградации или агредации в процессе строительства и длительной эксплуатации острова и пробуренной на нем скважины.

В Исследовательской лаборатории г. Инувик был получен текст новых (за 1977 г.) Правил землепользования на территориях Северо-Западной и Юкон, утвержденный правительством Канады и конкретизирующий и смягчающий Правила 1971 г. В Правилах установлены две категории местности на севере: чувствительная к деятельности человека и нечувствительная. Разрешение на землепользование при освоении территории выдается правительством с указанием границ использования технических средств. Контроль осуществляется также правительством Канады.

На местах участники экскурсии ознакомились с рядом приуроченных мероприятий, отметив при этом высокую культуру строительства и соблюдение требований по охране среды. Между тем охрана чистоты вод при разработке полезных ископаемых и очистка канализационных стоков на севере Канады явно недостаточны. Собранный обширный материал по этой проблеме требует изучения и обобщения.

Экскурсия в район Манитоба — Киватин. Экскурсия проходила по маршруту: город Виннипег — Томпсон — Гиллам — Черчилл, пролегающему в основном в области островного распространения вечной мерзлоты.

В Виннипеге делегаты посетили Институт по изучению водных ресурсов и охране окружающей среды при университете Манитоба и ознакомились с проблемами охраны пресных вод от загрязнения промышленными стоками, с исследованиями изменений среды в результате строительства ГЭС и других сооружений, с условиями рыбоводства в условиях Севера.

15 июля полевая группа посетила Южно-Индийское озеро (300 км от г. Томпсон), где проводятся комплексные исследования в связи с повышением уровня озера на 2 м в результате строительства канала и плотины для переброски вод из р. Черчилл в р. Нельсон.

Канал длиной 8 км, шириной 300 м и глубиной 7 м построен за 3 года. На стройке работало 300 человек. С повышением уровня озера начался размыв берегов, сложенных тонкозернистыми отложениями с содержанием льда 40—70%. За 2 года размыло 40 м берега. Из 3000 м береговой полосы озера размывается около 50%. Пока за размывом берегов наблюдают с помощью аэрофотосъемки по уложенным на поверхности ярким маркам и путем наземных измерений. До сих пор никаких мер борьбы с интенсивным разрушением берегов не выработано.

Затем делегаты ознакомились с мерзлотно-геологическими условиями Томпсона, расположенного в 640 км севернее Виннипега. Были осмотрены опытные площадки мерзлотной станции Национального исследовательского совета Канады и опытные площадки по изучению сил притяжения. Здесь ведутся теплобалансовые и термометрические наблюдения до глубины 7,5 м. Материалы наблюдений станций передаются в Вычислительный центр в Оттаве, где обрабатываются на ЭВМ. На опытных площадках ведут свои исследования ряд университетов и фирм, в том числе специалисты из Японии, изучающие взаимосвязь полярных сияний с магнитным полем Земли.

Большая работа проводится в Томпсоне по оконтуриванию участков с вечномерзлыми грунтами с помощью инфракрасной и многозональной аэрофотосъемки. Участки с вечномерзлыми грунтами, предназначенные для застройки, подвергаются здесь тепловой мелиорации: с них снимается растительный и моховой покров, производится планировка с местности и в течение 5 лет происходит естественное проращивание мерзлого грунта.

Компания «Интернейшил Никел Компани» ведет в окрестностях Томпсона разработку никелевых руд с 1961 г. Руда залегает здесь в интрузии долеритов, содержание никеля не превышает 8%. Разработка рудного тела ведется одновременно открытым способом и подземным

шахтным. Шахтная вода в количестве 4—5 тыс. м³ в сутки откачивается в лагуны емкостью 50—60 тыс. м³. Вода фильтруется через грунт и, самоочищаясь, попадает в реку. Специальных очистных устройств здесь не предусмотрено, не улавливается и сернистый газ в трубах обогатительной фабрики.

Делегатам была предоставлена возможность ознакомиться с состоянием железной дороги от ст. Гиллам до ст. Черчилл. С 435-го до 675-го км дорога проходит в районе с прерывистой мерзлотой и далее до ст. Черчилл со сплошной мерзлотой. Дорога деформируется от просадок на контакте мерзлых торфяных бугров и таликов. Оттаивание происходит вследствие фильтрации воды через насыпь из песчано-гравелистых грунтов. По нашему мнению, деформации могут быть устранены путем отвода воды от основания насыпи. Канадские организации проектируют установить в местах деформаций охлаждающие устройства. Мосты, которые подвергаются пучению вследствие мелкого заложения опор, укрепляют установкой стальных свай на глубину 13,5 м.

В районе г. Черчилл делегаты ознакомились с опытными участками мерзлотной станции Национального исследовательского совета Канады и основными результатами исследований. Наблюдательные пункты расположены на всех встречающихся типах местности и во всех природно-климатических зонах — от 56 до 72° с. ш., практически совпадая с будущей трассой проектируемого газопровода с арктического архипелага. В целом экскурсии позволили подробно ознакомиться с методами освоения канадского Севера.

Наиболее важным организационным вопросом конференции было обсуждение пункта решения предыдущей конференции (Якутск, 1973) о необходимости создания международной научной организации по мерзлотоведению. Делегации Канады поручено разработать конкретные предложения по этому вопросу. Следующая, IV Международная конференция по мерзлотоведению будет создана в США (г. Фэрбенкс, Аляска) в 1983 г. Доклады, дискуссии на конференции, материалы выставки, ознакомление с исследованиями научных организаций и университетов Канады и полевые научные экскурсии позволили сделать следующие выводы об уровне научно-исследовательских работ и их практических приложений, о направлениях и методах научных исследований, изысканий, проектирования и строительства на вечномерзлых грунтах и о состоянии проблемы охраны среды на Севере. Развитие теории мерзлотоведения в целом и в частности по вопросам, связанным с проблемами строительства на вечномерзлых грунтах, в СССР по-прежнему находится на более высоком уровне, чем в США и Канаде. То же относится к разработкам и техническим решениям, связанным с промышленным и гражданским строительством, которое на севере Канады и Аляски пока развивается в значительно меньших масштабах, чем в СССР. В то же время за последние годы, в частности за прошедший период после II Международной конференции по мерзлотоведению (Якутск, 1973 г.), в этой области в Канаде и США имеются определенные достижения. Это прежде всего относится к развитию экспериментальных работ в области механики, физики, теплофизики мерзлых грунтов, изучения криогенных процессов (термокарст, пучение и др.) и техники эксперимента. В экспериментальных исследованиях широко применяется автоматизация с помощью высокочувствительных приборов (индуктивных датчиков и т. п.), с обработкой данных испытаний в ходе самого опыта на компьютерах, включая передачу информации на центральный вычислительный пункт и получение обработанных результатов. Такая организация экспериментальных работ позволила провести эксперименты по динамике криогенных процессов, силам смерзания, пучению, течению грунтов на склонах и др. Одновременно с лабораторными исследованиями начаты опыты с моделями большого

размера. Такие опыты проводятся по изучению течения оттапивающего грунта откосов и деформаций туннелей, проходимых в мерзлых грунтах.

К числу серьезных достижений следует отнести интенсивное развитие дистанционных геофизических методов изучения мерзлых грунтов, особенно таких, как радиолокационное зондирование и инфракрасная съемка, которые применяются при картировании мерзлых грунтов на глубину 3—30 м. В СССР эти методы находятся в стадии разработки и испытываются при изучении мерзлых грунтов ВНИИСТом Миннефтегазстроя СССР и ПНИИСом Госстроя СССР.

В СССР в ПНИИСе создан опытный образец установки непрерывного частотного профилирования и зондирования с автоматической регистрацией, которая прошла испытания и показала более высокую разрешающую способность и производительность по сравнению с канадскими и американскими приборами. Однако до сих пор эта установка не получила широкого применения на практике из-за отсутствия завода-изготовителя.

Из числа крупных инженерных программ, осуществляемых в строительстве на севере Канады и США, можно отметить разработку проекта газопровода из арктических районов Канады на юг. Особенностью этого проекта является транспортирование газа с отрицательной температурой по стальным трубам. Широкое применение в строительстве Канады нашли сезоннодействующие саморегулирующиеся термосваи и термосифоны. Термосваи используются также при строительстве сооружений, связанных с обустройством нефтяных и газовых месторождений. Из числа новых конструктивных решений можно отметить металлические сваи с винтовыми ребрами с вмонтированными в полость свай охлаждающими устройствами. Термосваи как зарубежных, так и отечественных конструкций достаточно полно описаны в советской литературе и уже применяются в практике строительства на Севере СССР с большой экономической эффективностью. Однако применение термосваи сдерживается в СССР тем, что пока не выпускаются серийные конструкции охлаждающих установок различного назначения.

Одним из наиболее крупных проектов, разрабатываемых в Канаде и США, является проект освоения арктического шельфа в первую очередь для использования имеющихся там нефти и газа. Интенсивные научно-исследовательские работы по этому проекту взаимосвязаны с натуральными экспериментами и производством строительных работ.

В Канаде, так же как и в США, имеются определенные достижения в решении проблемы охраны окружающей среды на Севере. К ним надо отнести наличие довольно четкой системы конкретных требований к производству работ, проводимых частными фирмами и компаниями, осваивающими Север, и организацию соответствующего контроля. Предъявление требований и контроль за их выполнением производится Министерством по делам индейцев и развития северных территорий на основании Правил землепользования, утвержденных правительством Канады в 1977 г.

Правила землепользования на территориях Северо-Западной и Юкон основаны на результатах научно-исследовательских работ, которые продолжают проводиться и сейчас специально для выявления критериев допустимой нагрузки деятельности человека на северный ландшафт. Для обоснованного предъявления требований по охране среды в разрешениях на землепользование, выдаваемых упомянутым министерством землепользователям, в северных районах Канады проведены исследования и составлены карты землепользования и чувствительности поверхности к деятельности человека, снабженные обширной текстовой и табличной информацией о конкретных географических, геологических и экологических условиях местности.

Положительной мерой, принятой недавно как в Канаде, так и в США, является организация широкого обсуждения в Министерстве энергетики, недр и ресурсов и в Министерстве по охране среды, в том числе и на местах, крупных инженерных проектов освоения Севера, в результате которых уточняются требования по охране среды к данному проекту.

Четкие требования по охране среды заставили промышленников Канады разработать и выпустить на рынок специальные транспортные средства, способные перевозить значительные грузы, почти не нарушая растительного и почвенного покрова в области вечной мерзлоты.

В горнодобывающей промышленности на севере Канады разработан и применяется дренаж подземных вод в шахтах через специальные подземные выработки, из которых откачиваемые воды сбрасываются за пределы горного отвода в очистительные лагуны. Это исключает неблагоприятные явления, такие, как наледи, смерзание отбитой горной массы, обмерзание оборудования и др. Хвосты обогащения используются для приготовления твердеющих закладочных материалов в выработанных пространствах. К недостаткам природоохранных мероприятий на севере Канады следует отнести слабую постановку очистки сточных и канализационных вод.

В целом конференция дала возможность получить ее участникам обширную информацию по состоянию и уровню научных исследований по мерзлотоведению, проводимых в США, Канаде и СССР и других странах, выявить новые направления и методы исследований, ознакомиться с природными условиями осваиваемых районов Севера. Опыт, полученный во время проведения конференции, подтверждает целесообразность развития международных научных связей в области мерзлотоведения.

Институт мерзлотоведения
СО АН СССР

Поступила в редакцию
19.XII.1978 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Proceedings of the Third International Conference on Permafrost, July 10—13, 1978, Edmonton, Alberta, Canada. V. 1. National Research Council of Canada. Ottawa, 1978.
2. То же, в. 2.
3. III Международная конференция по мерзлотоведению. Доклады и сообщения. Вып. 1 — общее мерзлотоведение, вып. 2 — инженерное мерзлотоведение. Новосибирск, «Наука», 1979.

О НАПРАВЛЕНИЯХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В XI ПЯТИЛЕТКЕ

26 апреля 1979 г. в г. Москве под председательством академика Е. М. Сергеева состоялось заседание Научного совета по инженерной геологии и грунтоведению АН СССР. На нем были рассмотрены: 1) предложения об основных направлениях инженерно-геологических исследований, рекомендуемых Советом для включения в план работ в XI пятилетке; 2) организационные вопросы.

С сообщением по первому вопросу выступил заместитель председателя совета В. Т. Трофимов, обосновавший структуру и содержание проекта рекомендаций. В обсуждении проекта приняли участие Г. К. Бондарик, Н. Н. Маслов, Г. Л. Кофф, М. В. Рац, В. Д. Ломтадзе, Г. С. Золотарев, Г. И. Тер-Степанян, И. Я. Пантелеев, Э. И. Ткачук, И. А. Печеркин, Л. Д. Медведев, предложения которых позволили расширить и конкретизировать рекомендации о направлениях инженерно-геологических исследований в ближайшей перспективе.

Научный совет по инженерной геологии и грунтоведению АН СССР, обсудив предложения комиссий и членов совета, считает необходимым рекомендовать для разработки в организациях, ведущих инженерно-геологические исследования и изыскания, в XI пятилетке следующее.

I. Общетеоретические вопросы инженерной геологии

1. Разработка теоретических и методологических проблем инженерной геологии. Разработка системного подхода к изучению объектов инженерной геологии.

2. Разработка теории и моделей формирования инженерно-геологических условий. 3. Составление 4-томной монографии «Теоретические основы инженерной геологии».

4. Разработка основных положений теории взаимодействия геологической среды с внешними средами. Построение теоретической модели взаимодействия «Человек—геологическая среда».

5. Разработка теории и методов региональных и локальных, кратко- и долговременных прогнозов изменения инженерно-геологических условий под влиянием хозяйственной деятельности человека.

6. Разработка теоретических и методических основ экономической оценки использования результатов инженерно-геологических исследований.

II. Проблемы изучения свойств грунтов и массивов

1. Изучение закономерностей формирования свойств дисперсных грунтов.

2. Изучение природы просадочности лессовых грунтов.

3. Изучение закономерностей формирования свойств скальных грунтов.

4. Изучение закономерностей формирования свойств многолетнемерзлых грунтов.

5. Изучение закономерностей формирования свойств грунтов в пределах морских акваторий.

6. Исследование закономерностей пространственно-временной изменчивости свойств грунтов на базе концепции геологического поля.

7. Изучение закономерностей изменения инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов при интенсивных динамических воздействиях.

8. Изучение свойств грунтов и их изменений в полях тектонических напряжений. Разработка методов и технических средств изучения свойств и напряженно-деформированного состояния грунтов в массиве.

9. Разработка и усовершенствование методики оценки свойств массивов горных пород.

10. Разработка и усовершенствование методов прогноза и контроля изменения состояния и свойств массивов горных пород под влиянием естественных и искусственных факторов.

11. Разработка геолого-geoхимических основ теории искусственной литификации горных пород. Разработка методики и методов искусственного улучшения свойств грунтов и массивов.

III. Проблемы инженерной геодинамики

1. Разработка основных положений общей теории экзогенных геологических процессов на основе системного анализа.

2. Разработка теоретических основ размещения и создание сети специальных станций (геодинамических полигонов) с целью комплексного изучения геологических процессов и причин, их обуславливающих.

3. Изучение закономерностей пространственного распределения геологических процессов и явлений. Составление карты геологических явлений на отдельные районы, а также для территории СССР, и многотомной монографии, посвященной характеристике экзо- и эндогенных геологических процессов и явлений с инженерно-геологическими позициями.

4. Изучение сейсмогеологических деформаций. Разработка инженерно-сейсмологических, сейсмогеологических и сейсмогеокриологических основ сейсмического микрорайонирования. Составление карт сейсмического микрорайонирования.

5. Разработка теории оползневого процесса, вызванного эндогенными и экзогенными факторами (землетрясения, соляная тектоника, выветривание, абразия и др.) с учетом истории развития территории и напряженного состояния массивов. Дальнейшее совершенствование теоретических и методических основ пространственно-временного прогноза оползней при различных видах хозяйственной деятельности человека. Разработка рекомендаций по проектированию противооползневых мероприятий.

6. Изучение геологических закономерностей формирования катастрофических оползней и обвалов в пределах высоких скальных склонов. Разработка пространственно-временного прогноза этих явлений в осваиваемых районах горно-складчатых областей. Составление инженерно-геологического обоснования комплексных схем рационального использования и защиты горных территорий от оползней и обвалов.

7. Изучение и оценка геологических условий формирования селей в различных селопасных районах СССР. Разработка новых методов расчета и прогноза селевых потоков. Составление рекомендаций по проектированию средств защиты.

8. Разработка вопросов инженерной геодинамики шельфовых зон.

9. Разработка вопросов инженерной геодинамики морских побережий и берегов водохранилищ. Усовершенствование теории и методики пространственно-временного прогноза абразионной переработки берегов морей и водохранилищ. Разработка рекомендаций по проектированию защитных сооружений.

10. Изучение закономерностей распространения и развития карста в карбонатных, сульфатных и галоидных отложениях. Совершенствование методики и методов изучения карста. Разработка теоретических основ и практических рекомендаций по использованию карстовых пещер в качестве природных памятников и экскурсионных объектов.

11. Изучение закономерностей развития и пространственной изменчивости геокриологических (мерзлотных) процессов и явлений. Усовершенствование методики пространственно-временного прогноза развития этих процессов при освоении территории. Разработка принципов и приемов мелиорации территорий, сложенных мерзлыми толщами, в строительных целях.

12. Разработка горнотехнических проблем инженерной геодинамики.

13. Разработка теоретических аспектов и методики количественного пространственно-временного прогноза эндо- и экзогенных геологических процессов, возникающих при различных видах инженерной деятельности человека (гидротехническое, мелиоративное, горнотехническое и другие виды строительства).

14. Разработка теоретических и методических основ управления геологическими процессами, возникающими (или прогнозируемыми) при освоении территории.

IV. Проблемы региональной инженерной геологии

1. Разработка теоретических вопросов региональной инженерной геологии. Создание формальных основ регионального (индивидуального) и типологического инженерно-геологического районирования. Составление схем регионального и типологического районирования СССР.

2. Изучение закономерностей формирования инженерно-геологических условий различных регионов СССР.

3. Планомерное опережающее инженерно-геологическое картирование территории осваиваемых и перспективных в народнохозяйственном отношении районов Советского Союза, в том числе и шельфовых зон.

4. Изучение инженерно-геологических условий районов возведения крупных инженерных сооружений (ГЭС, промышленные комплексы, карьеры, массивы орошения и осушения, транспортные сооружения и др.) и месторождений полезных ископаемых.

5. Составление комплексной государственной программы научно-исследовательских работ по инженерной геологии крупных городов.

6. Разработка теоретических и геолого-экономических оснований типизации территории применительно к требованиям различных видов строительства.

7. Разработка теоретических и методических основ применения количественных методов в инженерно-геологическом картографировании.

8. Разработка методики геолого-экономической оценки сложности инженерно-геологических условий.

9. Выявление региональных закономерностей распространения и просадочности лессовых пород. Составление прогнозной карты просадочности лессовых пород СССР и монографии «Лессовые породы СССР».

V. Проблемы разработки и совершенствования методики инженерно-геологических исследований и изысканий

1. Разработка теоретических и методических основ оптимизации инженерно-геологических изысканий и автоматизации обработки материалов с целью повышения эффективности их использования в проектировании.

2. Анализ применения действующих нормативно-методических документов на инженерно-геологические изыскания и разработка рекомендаций по их совершенствованию. Разработка новой редакции инструкций по инженерно-геологическим изысканиям для разных видов строительства.

3. Разработка и совершенствование средств и методов наземных инженерно-геологических изысканий и исследований.

4. Разработка новых и совершенствование существующих дистанционных методов изучения инженерно-геологических условий (аэрофото- и космосъемки, тепловая съемка, аэрогеофизические методы и др.).

5. Разработка новых и совершенствование существующих средств и методов изучения инженерно-геологических условий морских акваторий.

6. Совершенствование методики изучения инженерно-геологических условий применительно к различным видам строительства и в различных условиях. Разработка научных основ комплексирования различных методов инженерно-геологических исследований.

7. Разработка и организация серийного производства инженерно-геологического лабораторного и полевого оборудования.

VI. Инженерно-геологические основы рационального использования и охраны геологической среды

1. Разработка методики оценки локальных и региональных изменений геологической среды в результате основных видов инженерно-хозяйственной деятельности человека.

2. Создание методических рекомендаций по инженерно-геологическому картированию изменений геологической среды в связи с различными видами инженерно-хозяйственной деятельности человека.

3. Разработка методики комплексного регионального прогноза изменений геологической среды крупных регионов страны в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

4. Разработка методики комплексного прогноза изменения геологической среды в связи с различными видами инженерно-хозяйственной деятельности человека (строительство гидротехнических сооружений, разработка месторождений полезных ископаемых, строительство и эксплуатация мелиоративных систем и комплексов, работа крупных водозаборов и др.).

5. Разработка научных основ создания карт прогноза изменения геологической среды и районирования территорий по условиям ее рационального использования.

6. Разработка инженерно-геологических основ рационального использования и охраны геологической среды различных районов Советского Союза.

Эти предложения разосланы в организации страны, ведущие инженерно-геологические исследования и изыскания. Рекомендовано учитывать их при составлении планов работ этих организаций в XI пятилетке. На их основе будет составлен координационный план научно-исследовательских работ АН СССР по проблеме «Инженерная геология и грунтоведение».

B. T. Трофимов



Редакционная коллегия:

Главный редактор
академик АН СССР
Е. М. СЕРГЕЕВ

Зам. главного редактора
член-корреспондент АН Груз. ССР
И. М. БУАЧИДЗЕ

Зам. главного редактора доктор
геолого-минералогических наук
В. И. ОСИПОВ

Зам. главного редактора
член-корреспондент АН СССР
П. Ф. ШВЕЦОВ

Ответственный секретарь кандидат
геолого-минералогических наук
Е. Н. ОГОРОДНИКОВА

Член-корреспондент АН УССР
А. Е. БАБИНЕЦ

Академик ВАСХНИЛ
Л. Г. БАЛАЕВ

Доктор геолого-минералогических
наук
Л. Д. БЕЛЫЙ

Академик АН БССР
Г. И. ГОРЕЦКИЙ

Доктор географических наук
Н. А. ГРАВЕ

Доктор геолого-минералогических
наук
Ф. В. КОТЛОВ

Доктор геолого-минералогических
наук
В. Д. ЛОМТАДЗЕ

Академик АН Узб. ССР
Г. А. МАВЛЯНОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. П. СОЛОНЕНКО

Член-корреспондент АН Арм. ССР
Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН

Член-корреспондент АН СССР
И. А. ТУРЧАНИНОВ

Член-корреспондент АН СССР
Н. А. ЦЫТОВИЧ

Адрес редакции:

103717, ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

Телефон: 227-55-38

УДК 624.131.1.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ. Ломтадзе В. Д.
«Инженерная геология», 1979, № 5.

Современные инженерно-геологические исследования представляют определенную систему — порядок изучения инженерно-геологических условий территорий, рационального использования геологической среды и ее охраны, геологических условий строительства сооружений и выполнения инженерных работ. Эта система предполагает выполнение инженерных изысканий по плану, в определенной последовательности, в соответствии со стадиями проектирования сооружений. На каждой стадии изысканий должны решаться конкретные геологические задачи и применяться определенные комплексы геологических работ и соответствующие методы исследований.

Научной основой системы инженерных изысканий являются следующие учения: об истории геологического развития территорий, о формировании свойств горных пород, о закономерностях развития геологических процессов, распределении подземных вод, о критериях, характеризующих закономерности распределения неоднородности и изменчивости инженерно-геологических условий.

Рис. 3, библ. 2 назв.

УДК 624.131.31.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕБРОСКИ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК. Кюнцель В. В., Круподеров В. С., Несветайлова Н. Г., Онготоев А. Р., Писцов М. Ю., Сергеева Н. С., Тарасова Г. И., Хоситашвили Г. Р. «Инженерная геология», 1979, № 5.

Приводятся результаты научно-исследовательских работ по оценке изменений инженерно-геологических условий на территории трассы проектируемого магистрального канала переброски части стока сибирских рек в бассейн Аральского моря.

Дан прогноз областей возможного возникновения экзогенных геологических процессов (заболачивания, эрозионных, оползневых, суффозионно-просадочных золовых) в естественных условиях и под влиянием проектируемого сооружения. Рассматриваются вопросы прогноза периодов активизации отдельных экзогенных процессов, в частности эрозионных и оползневых.

Библ. 5 назв.

УДК 624.139.

МЕРЗЛОТНЫЕ УСЛОВИЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ВОПРОСЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ В СВЯЗИ С ПЕРЕБРОСКОЙ ЧАСТИ СТОКА РЕК В ЮЖНЫЕ РАЙОНЫ. Баулин В. В., Чернядьев В. П. «Инженерная геология», 1979, № 5.

Основное внимание уделено исследованию возможных изменений мерзлотных условий в связи с переброской части стока рек в южные районы не только в зоне предполагаемых гидротехнических сооружений, но также и на территории всей области распространения многолетнемерзлых пород. Изменение гидрологических и гидрогеологических условий приведет к активизации многих криогенных процессов. Аналитические расчеты и моделирование процесса сезонного промерзания и протаивания пород показывают, что при изменении влажности слоя сезонного протаивания от 15 до 30% существенно понижается средняя годовая температура грунта и сокращается глубина сезонного промерзания.

Рис. 2, библ. 3 назв.

УДК 624.131.1 : 4

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОТЕКСТУРЫ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАКИНСКОГО АРХИПЕЛАГА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ИХ ИЗ СТАДИИ ДИАГЕНЕЗА В СТАДИЮ КАТАГЕНЕЗА. Поляков А. С., Осипов В. И., Котлов В. Ф., Куприн П. Н. «Инженерная геология», 1979, № 5.

В статье рассматриваются результаты исследования состава, микротекстуры и физико-механических свойств субаквальных глинистых отложений Бакинского архипелага, вскрытых двумя скважинами в интервале от 40 до 1255 м от поверх-

Технический редактор Н. П. Торчигина

Сдано в набор 25.06.79. Подписано к печати 06.08.79. Т-13633 Формат бумаги 70×108^{1/16}. Высокая печать. Усл. печ. л. 11,2. Уч.-изд. л. 11,6 Бум. л. 4,0 Тираж 3075 экз. Зак. 4626.

Издательство «Наука», 103717, ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21.
2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Шубинский пер., 10.

125

ности дна. Описывается методика исследований, анализируется преобразование изученных отложений с глубиной их залегания. Установлено резкое изменение микротекстуры и физико-механических свойств пород с глубины 250—300 м. В заключение доказывается, что преобразования микротекстуры и физико-механических свойств исследованных отложений Бакинского архипелага с глубины 250—300 м связаны с катагенетическими процессами, а границу 250—300 м для рассматриваемого разреза можно принять за границу между стадиями диагенеза и катагенеза.

Рис. 2, библ. 14 назв.

УДК 624.131.384.

О НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛАБЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ. Метс М.
«Инженерная геология», 1979, № 5.

В работе на примере слабых глинистых грунтов — ленточных глин приводится зависимость между напряжениями и деформациями и характерными нагрузками, при которых происходит изменение физических процессов в грунтах основания.

Рис. 4, табл. 3, библ. 10 назв.

УДК 624.131.3

МИКРОСТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА МОРЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ
(НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОЙ МОРЕНЫ В БЕЛОРУССИИ). Кофф Г. Л.,
Лободенко В. Г., Коломенский Е. Н. «Инженерная геология», 1979, № 5.

На исследованных трех участках в пределах Оршанской впадины Московской синеклизы (Белоруссия) отмечается слабое изменение по вертикали гранулометрического состава и ряда физических свойств моренных глинистых грунтов. В то же время по различию механических свойств четко выделяются три зоны: верхняя, переходная и нижняя. Предпринятые с целью расшифровки причин зональности количественные исследования микростроения 50 образцов были выполнены с помощью растрового электронного микроскопа «Квикскан-107А» и специального анализатора текстур. Исследования показали, что грунты выделенных вертикальных зон отличаются характерными структурно-текстурными особенностями, во многом определяющими механические свойства: прочность, сопротивление проникновению конуса и др. Микростроение грунтов характеризовалось дифференциальной и интегральной микропористостью, показателями текстурной упорядоченности — коэффициентом и показателем анизотропии, а также некоторыми параметрами математической морфологии. Структурно-текстурный облик грунтов выделенных вертикальных зон сформировался в результате наложения гипергенных факторов на диагенетические особенности. Предполагается, что моренный литогенез отличался прерывистостью и различной ролью водно-ледниковой компоненты во времени, что наложило отпечаток на состав и строение отложений. Специфический ход гипергенеза на исследованных участках обусловил относительные дезинтеграцию и разориентацию структурных компонентов моренных глинистых грунтов в верхней зоне, что определило снижение прочностных и деформационных показателей. Инженерно-геологическая оценка моренных толщ должна основываться на их вертикальной дифференциации по строению и механическим свойствам.

Рис. 6, табл. 1, библ. 10 назв.

УДК 624.131.3(571.17)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАМЫВНЫХ ГРУНТОВ
ГИДРООТВАЛОВ КУЗБАССА. Соколов В. Н., Лапочкин Б. К. «Инженерная гео-
логия», 1979, № 5.

Настоящая работа посвящена изучению инженерно-геологических особенностей одного из наименее изученных типов техногенных образований — намывных глинистых грунтов гидроотвалов. Детальные полевые и лабораторные исследования, проведенные на ряде гидроотвалов Кузбасса, позволили составить инже-

нерно-геологическую схему строения гидроотвалов, включающую приоткосную, промежуточную и прудковую зоны. Свойства каждой из зон находятся в строгом соответствии с дифференциацией дисперсного материала по размеру в гидросмеси по мере удаления от фронта намыва. Анализ результатов натурных и лабораторных определений параметров сопротивления сдвигу позволил составить таблицы изменения угла внутреннего трения и сцепления намывных грунтов в зависимости от степени их уплотнения. Было найдено, что при расчете несущей способности намывных грунтов необходимо учитывать их мощность. Исследования микростроения намывных грунтов гидроотвалов показали закономерное изменение микроструктуры как по простиранию, так и по глубине, а также позволили объяснить анизотропию прочности на сдвиг в нижних горизонтах разреза намывных грунтов зоны прудка-отстойника за счет формирования в них хорошо ориентированной турбулентной микроструктуры.

Рис. 4, табл. 3, библ. 8 назв.

УДК 624.131.43.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕФЕЛИНОВЫХ ПЕСКОВ —
ОТВАЛОВ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В СВЯЗИ С ИХ
СКЛАДИРОВАНИЕМ. Зиангиров Р. С., Черняк Э. Р. «Инженерная геология»,
1979, № 5.

Изложены результаты применения комплексной методики исследования инженерно-геологических свойств нефелиновых песков — продукта дробления горных пород. Установлено, что исследованные искусственные грунты обладают специфическими свойствами, что не позволяет применять к ним непосредственно рекомендации, приведенные в существующих нормативных документах для естественных грунтов.

Выявлены зависимости между результатами исследования нефелиновых песков полевыми и лабораторными методами. Установлены закономерности фракционирования нефелиновых грунтов в пределах намытой толщи. Выявлен характер изменения состава нефелинового песка с глубиной и в зависимости от расстояния до места выброса пульпы, а также соответствующие этому изменения свойства песков, оцененные по данным зондирования.

Рис. 7, табл. 5, библ. 9 назв.

УЛК 624.131 431 4

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (АСОД) ПО ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ. Рац М. В., Иванова Н. Б., Русин Г. Л., Слепцов Б. Г. «Инженерная геология», 1979, № 5.

В статье описывается автоматизированная система обработки данных (АСОД) по трещиноватости горных пород для инженерно-геологических целей, которая пригодна для оценки водопроницаемости, деформируемости, блочности и пустотности скальных массивов на основе обработки массовых измерений параметров трещиноватости: угла и азимута падения, густоты и раскрытия трещин, а также свойств породы в образце и заполнителя трещин.

Описываются методы решения и программы для ЭВМ, реализующие все этапы обработки исходных данных: а) выделение систем трещин и расчет средних характеристик параметров трещиноватости для выделенных систем, б) определение объемной трещинной пустотности и блочности массива, в) расчет фильтрационных характеристик с помощью модифицированного тензорного метода, г) расчет модуля деформации массива на основе оригинальной модели деформации одиночной трещины.

Приводятся результаты сопоставления расчетных методов с данными опытно-фильтрационного опробования и штамповых испытаний, полученные в результате внедрения АСОД на объектах гидротехнического строительства. Даётся оценка экономической эффективности АСОД.

Рис. 2 библ. 18 назв.

УДК 624.131.1. (262.83)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МАТЕРИАЛОВ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ ТЕРРИТОРИИ ТУРГАЙСКОГО УЧАСТКА ТРАССЫ ПРОЕКТИРУЕМОГО КАНАЛА ИРТЫШ—АРАЛЬСКОЕ МОРЕ.
Валях В. М., Графский Б. В. «Инженерная геология», 1979, № 5.

В статье изложены методические аспекты инженерно-геологического дешифрирования РЛ-снимков, выполненных радиолокационной системой (РЛСБО) «Торос».

По отдельным участкам проектируемой трассы канала (Тургайский прогиб и Мынбулакская впадина) приводятся фрагменты в виде результативных эталонов и таблиц дешифровочных признаков.

Излагаются также методические возможности ландшафтной индикации инженерно-геологических условий с учетом влияния на физиономичность морфологии поверхности земной коры широтно-биоклиматических факторов. Оцениваются основные принципы экстраполяции полученной информации после рационального комплексирования с наземным исследованием на ключевых участках.

Завершается статья выводами о целесообразности и эффективности применения РЛ-материалов применительно к региональным инженерно-геологическим исследованиям для целей проектирования линейных гидротехнических объектов.

Рис. 2, табл. 2.

УДК 624.131.1 : 552.52

ПОЛЕВОЙ ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИПКОСТИ ПОЧВ И ГРУНТОВ.
Калачев В. Я. «Инженерная геология», 1979, № 5.

В статье рассматриваются существующие приборы для определения липкости почв и грунтов. Приводится подробное описание конструкции нового полевого прибора (ППЛ-1), его преимущества по сравнению с существующими. Дается детальное описание тарировки и методики определения липкости почв и грунтов с его помощью.

Рис. 3, библ. 5 назв.

УДК 624.131

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ НА ВЫБОР И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОТИВОПРОСАДОЧНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ. *Галай Б. Ф., Лысенко М. П.* «Инженерная геология», 1979, № 5.

Рассмотрено влияние состава и свойств лессовых грунтов на эффективность применения противопросадочных мероприятий при строительстве. Выбор метода устранения просадочности определяется прежде всего инженерно-геологическими условиями участка. Для полного устранения просадочности предстроительным замачиванием лессовых грунтов требуется в 2–3 раза больше воды, чем это рекомендуется нормативами, в которых количество воды задается из условия только кратковременного промачивания просадочной толщи. В лессовых грунтах при кратковременном замачивании просадка полностью не проявляется.

Дренирующие скважины, применяемые для ускоренного замачивания лессов, часто вызывают неблагоприятные суффозионные явления, приводят к перерасходу воды, задержке и удорожанию строительства. Поэтому во многих случаях более рациональным является обычное замачивание без дренирующих скважин.

Эффективными методами борьбы с просадочностью являются силикатизация и обжиг лессовых грунтов. Однако для этих методов неоправданно завышены границы их применения. Они не всегда учитывают особенности состава лессовых грунтов. На примере гидровзрывного способа показано, что учет литологических особенностей и свойств лессовых грунтов при проектировании искусственных оснований дает значительную экономию средств и сокращает сроки строительства.

Библ. 11 назв.