

ISSN 0203-0292

АКАДЕМИЯ НАУК СССР



ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

5
1988



ИЗДАТЕЛЬСТВО · НАУКА ·

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

ЖУРНАЛ ОСНОВАН В 1979 ГОДУ

5 • 1988

ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД

сентябрь — октябрь

МОСКВА

СОДЕРЖАНИЕ

Черняев В. Ф. Системы и управление в инженерной геологии	3
Грунтоведение	
Трофимов В. Т., Горский М. Р. Новые экспериментальные данные к познанию механизма формирования эпигенетической просадочности у пылеватых аллювиальных пород	22
Кушнир С. Я. Консолидация неоднородных намывных оснований при глубинном виброуплотнении	33
Геодинамика	
Пиотровская Т. Ю. О системе инженерно-геологической оценки пространственной изменчивости природных процессов при изучении состояния геологической среды	38
Гутковский В. Н., Пилипенко М. Н., Семеренко В. С. Особенности развития оползней на северо-западном побережье Черного моря и их прогноз	45
Региональная инженерная геология	
Жигарев Л. А. Инженерно-геологические исследования океанической криолито-зоны	51
Коробанова И. Г., Нефедова Т. В., Черняк Э. Р. Техногенные изменения грунтов северных районов Западной Сибири в связи с прокладкой трубопроводов	60
Четвертков С. С. Формирование структуры грунтового потока на орошаемых массивах Поволжья	69
Орлов Я. М., Аладьев Л. Л., Текучева З. Н. Условия и особенности обводнения строительных площадок в районе горных подработанных территорий Восточного Донбасса	79
Методы и методика исследований	
Ильичев В. А., Шейнин В. И., Уляхин О. В., Михеев В. В., Кулачкин Б. И., Гравчев Ю. А., Бетелев Н. П. Использование геостатистического подхода для оценки свойств объемов закрепленного грунтового массива по результатам зондирования	93
Трацевская Е. Ю. Реакция супесчаного грунта на динамические воздействия	99
Дегтярев Р. А. Инженерно-геологический регламент подземной разработки месторождения	105
Обсуждаем нормативные документы	
Матвеев Ю. Д. О положении гипергенных образований в общей инженерно-геологической классификации грунтов	113
К сведению читателей	123

C O N T E N T S

Chernyaev V. F. Systems and management in engineering geology	3
Soil and rock engineering	
Trofimov V. T., Gorsky M. P. New experimental data on the mechanism of development of epigenetic subsidence in silty alluvial soils	22
Kushnir S. Ya. The consolidation of the non-homogeneous washed — in basements at abyssal vibrocompaction	33
Geodynamics	
Piotrovskaya T. Yu. On the system of the engineering geological estimate of the spatial changeability of natural processes in the study of the geological environmental state	38
Gutkovsky G. N., Pilipenko M. N., Semerenko V. S. Specifics in landslide development at the north-western Black-sea coast and their prediction	45
Regional engineering geology	
Zhigarev L. A. Engineering geological studies of the oceanic cryolithozone	51
Korobanova I. G., Nefedova T. V., Chernyak E. R. The technogenuous changes of soils in western areas of Western Siberia related to the pipe laying	60
Chetvertkov S. S. Development of soil stream structure in the irrigated masses of the Volga region	69
Orlov Ya. M., Aladyev L. D., Tekucheva Z. N. The conditions and specifics of inundation of construction sites in the mining underworking areas of Eastern Donbass	79
Methods and technique of research	
Ilyichev V. A., Sheinin V. I., Ulyakhin O. V., Mikheev V. V., Kulachkin B. I., Grachev Yu. A., Betelev N. P. Use of the geostatic approach to the estimate of properties of a fastened soil mass by the results of sounding	93
Tratsevskaya E. Yu. The reaction of a sandy loam soil to the dynamic impact	99
Degtyarev R. A. The engineering geological regulations for underground mining	105
Discourse on specification documents	
Matveev Yu. D. On the place of the hypergeneos formations in the general engineering geological classification of soils	113

УДК 624.131

ЧЕРНЯЕВ В. Ф.

СИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ *

Системный подход сегодня интенсивно развивается в геологических науках. Достаточно посмотреть тематику докладов I и II Всесоюзных конференций «Системный подход в геологии» (Москва, май 1983 г. и сентябрь 1986 г.), чтобы убедиться, насколько широк круг геологических проблем (в том числе в инженерной геологии), связанных с моделированием различных систем.

Данная статья не претендует на анализ современного положения дел с моделированием систем в инженерной геологии. Ее задача гораздо скромнее: показать возможности системного подхода в инженерной геологии (ИГ), остановившись на правилах абстрагирования систем из окружающей среды; используя принцип целеполагания, обосновать выбор объекта в ИГ, направление его изучения и охарактеризовать как одну из основных задач ИГ управление геологической среды (верхней частью литосфера).

Введение

В работе В. М. Воскобойникова [7], дискуссионной на наш взгляд, высказана правильная мысль: «Новое понимание содержания инженерной геологии как науки о геологии среды обитания и деятельности человека, сформулированное Е. М. Сергеевым [20] и одобренное Всесоюзным совещанием по инженерной геологии (Ленинград, 1976), можно рассматривать в качестве парадигмы инженерной геологии. Будущее инженерной геологии связано с созданием геологических основ преобразования природы... Признание этой концепции вызывает настоятельную необходимость методологического и теоретического перевооружения инженерной геологии». Такая оценка сложившейся ситуации сегодня общепринята.

Необходимость пересмотра места, занимаемого ИГ среди других геологических наук, пересмотр объекта ИГ и методов его изучения связана с динамикой развития общества и возникновением глобальных экологических проблем, с динамикой развития самой ИГ как науки и созданием ее теоретических основ. Выделим два взаимосвязанных процесса, отражающихся на развитии ИГ. Во-первых, изучение инженерно-геологических условий различных территорий в целях обоснования возможности строительства постепенно утрачивает свое прежнее научное значение, превращаясь в раздел проектно-изыскательских работ. Современная техника и технология уже сегодня позволяет строить практически в любой геологической обстановке. Появление дешевых источников энергии и новых технологий даст возможность в будущем возводить инженерные сооружения там, где это необходимо, улучшая любые характеристики грунтов (техногенный литогенез). Во-вторых, непрерывный рост антропогенных нагрузок на окружающую среду приводит к ее качественным изменениям, в большинстве своем непреемлемым для человека и общества в целом. Оптимизация взаимодействия общества с окружающей средой возможна только путем управления, т. е. целенаправленного из-

* Статья публикуется в порядке дискуссии (Прим. редколлегии).

менения основных компонентов среды¹, одним из которых является литосфера (литомониторинг в широком смысле слова)².

Конечной продукцией ИГ по-прежнему остается информация, но ее содержание становится принципиально иным. Инженерно-геологическая информация должна давать проектировщикам, строителям и эксплуатационникам ответ на вопрос: как сделать, чтобы в процессе возведения и эксплуатации зданий и инженерных сооружений изменения определенной (территориальной) части геологической среды (ее динамическое равновесие) находились бы в допустимых пределах, могли бы контролироваться и управляться. Другими словами, как осуществить оптимизацию взаимодействия компонентов в системе «инженерные сооружения — грунтовой массив (часть геологической среды)», реализуемую для массива несколькими вариантами управления. Например, мощным разовым воздействием на грунтовой массив с образованием «техногенно- geoхимической системы» по С. Д. Воронковичу [6], обеспечивающей надежность и безопасность эксплуатации инженерных сооружений. Или введением в систему стандартных блоков — «блока управления» и «блока воздействия», которые контролируют ее состояние, анализируют его и путем комплекса инженерных воздействий гарантируют «жизнедеятельность» объекта³. Помимо таких инженерных задач ИГ вместе с другими науками геологического цикла изучает глобальные проблемы охраны и рационального использования верхней части литосферы, которая снабжает веществом и энергией биосферу.

С позиций экономики и экологии перед ИГ стоят на более высоком качественном уровне традиционные инженерные задачи — оценка инженерно-геологических условий, контроль, прогноз, управление (литомониторинг), и принципиально новые задачи — рациональное использование и охрана верхней части литосферы (геологической среды) в глобальном масштабе (глобальный литомониторинг). Вместе с тем динамика развития самой ИГ свидетельствует, что эта наука переживает новый этап, связанный с теоретическим переосмысливанием накопленных знаний, уточнением объекта изучения, созданием строгой понятийной базы, осознанием новых целей и задач. Существенным достижением в этом направлении следует считать издание коллективного труда «Теоретические основы инженерной геологии» [23—25].

В последнее время внимание ученых и практиков все больше концентрируется на теоретических и прикладных вопросах ИГ, связанных с проблемой охраны окружающей среды (в том числе и литосфера), которыми в той или иной степени занимается большинство фундаментальных и прикладных наук. Поэтому чрезвычайно важен выбор как методов изучения окружающей среды и ее компонентов, так и исследуемых свойств объекта, что позволяет избежать ненужного (зачастую вредного) параллелизма в работе и одновременно способствуют более полному изучению объекта за счет междисциплинарной интеграции. Идейной основой данной статьи является «Диалектика природы» Ф. Энгельса и системное представление о Земле как совокупности оболочек по В. И. Вернадскому, что соответствует принципу, на котором базируются

¹ Оптимизация включает и управление развитием общества как компоненты системы «общество — окружающая среда».

² В последние годы разработка проблем литомониторинга привела отдельных исследователей к теоретическим обоснованиям управляющих воздействий на геологическую среду. Так, В. Т. Трофимов и В. К. Епишин в работе [25] подчеркивают: «литомониторинг — система контроля и управления геологической средой», что является принципиально новым положением в задачах ИГ.

³ Как известно, любая наука реализует свои идеи, в том числе и в области управления, через сферу материального производства. В нашем случае «блок управления» будет относиться к прерогативе научных дисциплин (по отношению к геологической среде это в первую очередь — ИГ), а «блок воздействия» (материальная реализация управления) — к строительному производству и (или) другим отраслям народного хозяйства, включая службы эксплуатации.

практически все науки, изучающие проблемы охраны окружающей среды,— *принципу системности*: любой объект может быть смоделирован как система.

1. Системный подход к изучению объекта

В последние годы геологические науки в качестве природоохранного объекта рассматривают верхнюю часть литосферы («геологическую среду» по Е. М. Сергееву или «недра» по Л. И. Четверикову)⁴, вполне резонно считая ее одним из основных компонентов окружающей среды. С таким подходом следует согласиться при условии, что способ вычленения объекта из системы более высокого ранга (литосфера) четко оговорен в исходных понятиях. Вычленение вместе с тем должно предусматривать и сохранение определенных связей нового объекта с системами более высоких рангов.

Как известно, «по сути дела системный подход представляет собой конкретизацию и развитие принципов материалистической диалектики» [26]. Наиболее четкое, логичное системное представление о природе дал Ф. Энгельс: «Вся доступная нам природа образует некую систему, некую совокупную связь тел, причем мы понимаем здесь под словом тело все материальные реальности, начиная от звезды и кончая атомом и даже частицей эфира, поскольку признается реальность последнего. В том обстоятельстве, что при этом тела находятся во взаимной связи, уже заключено то, что они воздействуют друг на друга, и это их взаимное воздействие друг на друга и есть именно движение» [1, с. 83].

Остановимся на общих правилах и принципах вычленения объекта из окружающей среды, его абстрагирования (превращения в систему для нас), которые сформулируем в аксиоматическом виде⁵:

в окружающем нас мире существует бесчисленное множество тел, каждое из которых может быть представлено как совокупность систем;

всякое материальное тело (объект) обладает бесчисленным количеством свойств, связей и отношений, которые могут быть «сгруппированы» в бесчисленное множество систем;

материалные объекты реализуются для нашего восприятия в виде совокупности конечного числа свойств. «Построены» объекты по иерархическому принципу;

вычленяя объект-систему из общей совокупности систем, мы прерываем естественные взаимосвязи и наделяем данную систему конкретной совокупностью связей и отношений, т. е. строим абстрактную систему (моделируем ее);

вычленение объекта-системы начинается с выделения основных (существенных) свойств, выражающих его качественную определенность, и основных связей по целевому признаку. Другие свойства и связи аннулируются при рассмотрении, что приводит к абстрагированию системы;

изучение выделенного тела (объекта) как системы позволяет установить его связи с другими телами, которые по отношению к нему являются окружающей средой;

количественная величина взаимосвязей основных свойств системы образует ее структуру, обеспечивающую целостность системы. Совокупная связь параметров (свойств) системы определяет те или другие закономерности ее функционирования;

определенная система существует, пока существует соответствующая ей материальная структура. Разрушение данной структуры равнозначно

⁴ «Недра — это часть геологического пространства (часть литосферы), подвергающаяся инженерно-техническому воздействию» [30, с. 5].

⁵ В сущности, это — правила диалектики. Данное обстоятельство представляется автору чрезвычайно важным, так как исключение какой-либо из аксиом при моделировании систем в ИГ (что нередко наблюдается) приводит к необоснованным и противоречивым выводам.

уничтожению данной системы, но не равнозначно созданию другой системы для нашего восприятия (если система перестает удовлетворять целевой функции, то она становится другой системой или перестает быть системой в нашем представлении);

любое (в принципе мельчайшее) изменение «поведения» окружающей среды вызывает качественные и количественные изменения вещественных свойств, а следовательно, и всей системы. Одновременно изменение одного свойства изменяет всю совокупность свойств, т. е. качество системы. Существование системы — это непрерывная цепь ее реакций на воздействие окружающей среды (система динамична);

в организованных объектах-системах развитие идет за счет самоорганизации системы. Объекты живой природы (биосфера) обладают направленным развитием (эволюцией). Развитие первого типа может не совпадать с развитием второго типа, что в конечном счете способно привести к гибели биосферы («живой природы»). Поэтому для сохранения биосферы необходимо управление⁶ ее эволюцией и самоорганизацией окружающей среды как единой системы.

Каждая наука оперирует определенными классами систем, выделяемым по целевому признаку. Если принять целевым признаком условие гомеостазиса для биосферы и человека и учесть необходимость (и возможность) коренного изменения технологии материального производства (оборотный цикл и регенерация), то одной из главных задач геологических наук будущего должна стать разработка методов управления процессами, происходящими в литосфере. Такова же и основная экологическая задача общества: *биосфера предшествующего периода являлась саморегулируемой, а сейчас ей нужно стать управляемой системой*, т. е. превратиться в *ноосферу* в представлении В. И. Вернадского [19].

2. Иерархия системы Земля с позиций биосферы

Земля как система абстрагируется путем выделения ее из общей системы («природы» по Ф. Энгельсу). В этом случае изучаются два объекта: Земля как система и Космос как окружающая среда. На наш взгляд, в задачах глобальной экологии целевым признаком при рассмотрении системы Земля является *обеспечение оптимальных условий существования биосферы в целом и человека как ее составной части* (другими словами, обеспечение их гомеостазиса). При выделении основных компонентов в системе Земля по данному целевому признаку используем отдельные положения учения В. И. Вернадского о геосферах (понятия о земных оболочках). В работе [5] В. И. Вернадский так сформулировал представления о земных оболочках: «Мы видели, что в земной коре можно различить оболочки — более или менее правильные концентрические слои, охватывающие всю планету, меняющиеся с глубиной в вертикальном разрезе планеты и отличающиеся друг от друга характерными для каждой, только ей свойственными, особыми физическими, химическими и биологическими свойствами,— геохимически резко различные. Можно представить себе земную кору как совокупность таких концентрических оболочек... Земная оболочка — понятие более общее и сложное, чем геосфера... Такой земной оболочкой является, например, биосфера — область жизни, захватывающая тропосферу, гидросферу и часть стратосферы (кору выветривания)».

В этом определении, на наш взгляд, следует подчеркнуть такие основные положения: биосфера — это область, которая может быть рассмотрена как одна из земных оболочек; земные оболочки — концентрические

⁶ Управление — это совокупность действий, выбранных человеком на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования системного объекта в соответствии с изменяющейся программой или целью функционирования.

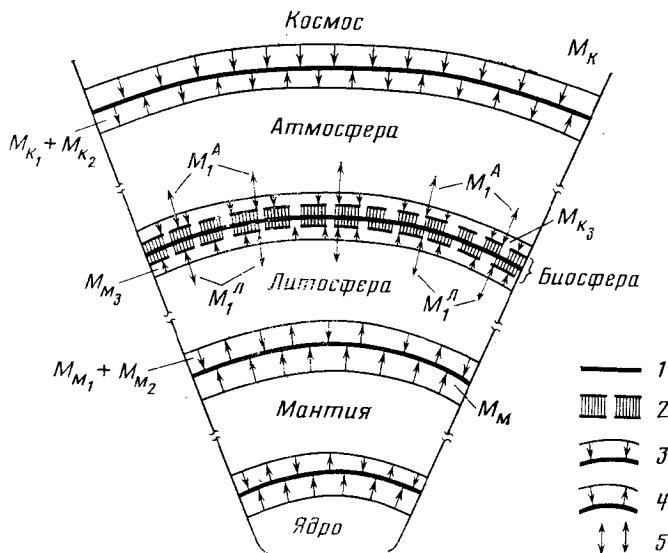


Рис. 1. Системная модель взаимодействия оболочек Земли; 1 — границы оболочек, 2 — биосфера, 3 — суммарный вещественный и энергетический поток, поступающий в оболочку, 4 — часть потока, отражаемая и поглощаемая оболочкой, 5 — поток, создаваемый деятельностью человека; для наглядности показаны также ядро и мантия

слои, охватывающие всю планету; земные оболочки имеют присущие только им свойства; земная оболочка — более общее и более сложное понятие, чем геосфера. Эти положения примем за «системообразующие факторы» (по В. Н. Сагатовскому [18]), что позволяет провести расчленение системы Земля на ряд систем-оболочек, исходя из определения биосферы как «живого вещества, образующего тонкий, но сплошной покров на земной поверхности» [5].

С позиций гомеостазиса нас интересуют три одноранговых объекта системы в виде оболочек: биосфера, атмосфера и литосфера. В такой системной модели гидросфера является частью (подсистемой) литосферы, т. е. мономинеральным геологическим телом, что также не противоречит В. И. Вернадскому. Конечно, следует помнить, что биосфера «вросла» в атмосферу и литосферу (см. выше определение биосферы по В. И. Вернадскому), поэтому на рис. 1 все оболочки разграничены сплошными линиями, а биосфера в пограничном слое атмосферы и литосферы заштрихована.

Если в данной модели рассматривать биосферу (Би) как самостоятельную систему, то окружающей средой для нее будут примыкающие оболочки, т. е. атмосфера (Ат) и литосфера (Ли)⁷. Они защищают живое вещество планеты от губительного воздействия внешних сил со стороны космоса (защищает Ат) и внутрипланетных сил (защищает Ли). Такая защита — исходное (природное) качество системы Земля в целом и ее отдельных оболочек по отношению к Би.

Покажем принципиальную возможность качественных скачков, возникающих при взаимодействии данных оболочек с учетом антропогенных воздействий. Взаимодействие осуществляется вещественными и энергетическими потоками (см. рис. 1). Обозначив потоки из космоса через M_k , можно записать балансовое уравнение состояния системы в виде

$$M_k = M_{k_1} + M_{k_2} + M_{k_3}, \quad (1)$$

⁷ Обозначения Би, Ат, Ли учитывают, что из традиционно понимаемых атмосферы и литосфера исключены объемы, составляющие целое с биосферой.

где: M_{k_1} и M_{k_2} — часть суммарного потока, отражаемая и поглощаемая Ат соответственно, M_{k_3} — часть общего потока, проникающая через Ат к Би. Аналогично для внутрипланетных сил имеем

$$M_m = M_{m_1} + M_{m_2} + M_{m_3}, \quad (2)$$

где: M_m — совокупный вещественный и энергетический поток из глубины Земли; M_{m_1} и M_{m_2} — часть потока, отражаемая и поглощаемая Ли соответственно, M_{m_3} — часть общего потока, проникающая через Ли к Би.

Взаимодействие Би с Ат и Ли можно выразить таким уравнением состояния:

$$M_6 = M_{k_3} + M_{m_3} + M_1, \quad (3)$$

где: M_6 — суммарный энергетический и вещественный поток в Би, $M_1 = M_1^A + M_1^L$ — поток, возникающий в результате деятельности человека, извлекающего вещество и энергию из Ат (M_1^A) и Ли (M_1^L).

В начальный период деятельности человека величина M_1 была пренебрежимо мала по сравнению с M_{k_3} и M_{m_3} и уравнение состояния имело вид

$$M_6 = M_{k_3} + M_{m_3}. \quad (4)$$

В настоящее время величина M_1 значительно возросла и продолжает расти, тогда как M_k и M_m сохраняют прежние значения ($M_k = \text{const}$, $M_m = \text{const}$). Уравнение состояния выражается формулой (3). Непрерывный рост M_1 ведет к изменению динамического равновесия, свойственного Би прежде (уравнение (4)), что сказывается как на самой Би, так и на окружающей среде (Ат и Ли). Все эти объекты-системы претерпевают качественные изменения. Как отмечалось в разделе I, изменение одного свойства влечет за собой изменение всей совокупности свойств, а следовательно, и качества системы. Предположим, что возрастание M_1 приводит к изменению только одного свойства окружающей Би среды, а именно способности поглощать или отражать вещественный и (или) энергетический поток. Тогда, согласно уравнению (1), при $M_k = \text{const}$ возможны такие варианты развития системы (качественные скачки): M_{k_2} и M_{k_3} растут, соответственно M_{k_1} уменьшается, возникает «парниковый эффект» — перегрев Ат; M_{k_1} растет, соответственно M_{k_2} и M_{k_3} уменьшаются, возникает «ядерная зима» — переохлаждение Ат. Эти варианты изменения Ат, губительные для Би и прежде всего для человечества, просчитаны в задачах глобального моделирования [10, 15].

Для нас в рассмотренном примере основной интерес представляет вывод о том, что воздействие развивающегося общества на Ат приводит к изменению свойств (параметров) последней, которое сегодня регулируется (управляется) в недостаточной степени. В свою очередь изменение свойств системы «атмосфера» вызывает изменение такого ее качества как защита от воздействий на Би со стороны космоса, что «может послужить толчком к возникновению переходного процесса, который переведет биосферу в новое состояние равновесия, где места человеку уже не будет» [14].

Аналогия уравнений (1) и (2) по признаку защиты Би заставляет предположить, что рост антропогенных нагрузок на Ли повлечет за собой подобные качественные скачки, другими словами, накопление изменений при взаимодействии развивающегося общества с литосферой может вызвать аналогичные по последствиям качественные скачки. Такие ситуации не моделировались и не прогнозировались, так как традиционно считается, что литосфера — это незыблемая часть окружающей среды, не поддающаяся «слабым» человеческим воздействиям. Подобный подход противоречит положению В. И. Вернадского о человеческой деятельности как новой геологической силе. Вместе с тем, например, многочисленные сейсмические эффекты как результат возведения крупных водохранилищ или откачки нефти из недр [16], по-видимому, являются не

менее грозными предупреждениями, чем возможные изменения атмосферы, полученные при моделировании. Эти обстоятельства не учитывались при глобальном моделировании, как не учитывались еще совсем недавно антропогенные нагрузки на атмосферу, однако они также поддаются расчетам, и к таким представлениям и расчетам нужно готовиться уже сейчас.

Таким образом, глобальные экологические модели уделяют недостаточное внимание литосфере (см., например, [10, 14, 15]). Ее роль в обеспечении условий существования живого вещества еще до конца не осознана. Необходима новая глобальная модель биосферы с учетом литосферы. Поскольку литосфера является объектом всех геологических наук, их значение в решении проблем охраны и рационального использования окружающей среды будет постоянно расти. Глубоко прав акад. Е. М. Сергеев, указывающий на необходимость создания новой научной дисциплины — *геологии окружающей среды* [21]. Геологам, и в первую очередь инженер-геологам (по объекту изучения), необходимо с глобальных позиций (защитная функция) взглянуть на литосферу (особенно на верхнюю ее часть).

3. Классы систем в инженерной геологии

От рассмотрения литосферы как одной из оболочек Земли перейдем к объектам более низкого ранга, которые изучаются непосредственно ИГ. Такой переход возможен разными путями. Воспользуемся принципом минимаксного построения моделей [27]. Для этого применим метод индукции при моделировании систем на основе единого объекта — литосферы, используя в качестве ее элементов такое фундаментальное геологическое понятие, как горная порода, т. е. будем считать, что литосфера состоит (сформирована) из горных пород. Такое положение не противоречит общегеологическим взглядам. В этом случае моделируется множество систем, образующих классы по наборам свойств-параметров системы и условиям взаимодействия с окружающей средой (рис. 2).

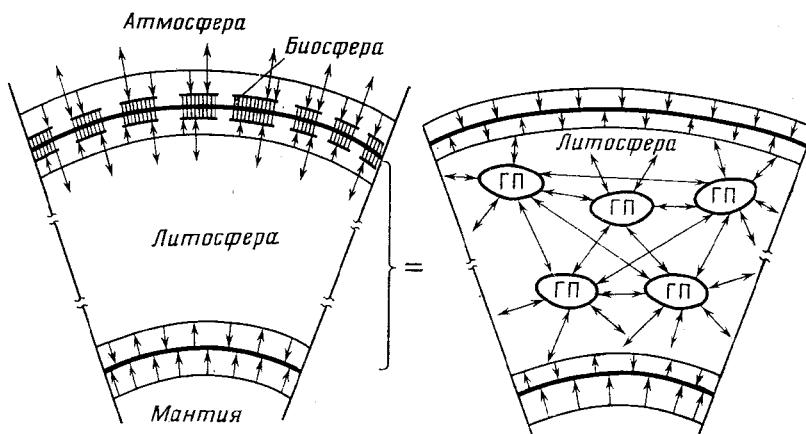


Рис. 2. Схема моделирования систем на основе литосферы. Стрелками показано взаимодействие горной породы (ГП) со средой

В этом множестве для каждой геологической науки, используя аксиоматику вычленения объекта (раздел I статьи), можно выделить свои классы систем при изучении литосферы как целого или любой горной породы как самостоятельного геологического тела⁸.

⁸ Задавая по целевому признаку определенный набор основных свойств, связей и отношений, в литосфере выделяют для изучения геологические тела разных иерархических уровней (например, фация, формация и др.) и (или) изучают их минеральный либо вещественный состав.

При изучении верхней части литосферы в ИГ моделируются самые разнообразные системы исходя из базисного понятия «грунт». Однако при этом неосознанно нарушается принцип полноты группы, так как, на наш взгляд, происходит сужение классов возможных систем. Для обоснования такого положения проследим цепочку логических построений.

В учебнике «Грунтоведение» дано такое определение грунта: «Грунты — это любые горные породы, почвы и техногенные образования, обладающие определенными генетическими признаками (*а*), и рассматривающиеся как многокомпонентные (*б*) динамические (*в*) системы, находящиеся под воздействием инженерной деятельности человека (*г*)» [9, с. 10]. В соответствии с правилами формальной логики понятие определяется через ближайший род и видовое отличие, откуда следует: горные породы, почвы и техногенные образования — родовые, т. е. более широкие понятия, чем грунт, и образуют самостоятельные классы системных объектов; свойства (параметры) системы грунт, отмеченные буквами *а*, *б*, *в*, *г*, являются видовыми различиями.

Проверим обоснованность последнего вывода, сопоставив понятие грунт в [9] и понятия горная порода и почва⁹ в [8]. Видовые отличия в данном случае рассматриваем как целевой признак, как системопорождающий фактор. Результатом анализа становится дефиниция: *грунты — это любые горные породы, почвы и техногенные образования, рассматриваемые как многокомпонентные (*б*) системы*¹⁰. Остальные параметры системы грунт, обозначенные буквами *а*, *в*, *г*, в той или иной степени присутствуют в родовых понятиях.

Следовательно, при системном изучении горных пород, почв и техногенных образований в ИГ они моделируются путем объединения в целое в различных сочетаниях твердого, жидкого, газообразного и живого компонентов, которые имеют конечный набор свойств, связей и отношений. Абстрагируемая таким образом модель изучается в движении, т. е. как динамическая система. Весьма существенно, что «движение» (развитие) системы осуществляется за счет двух основных факторов.

1. Изменение (перераспределение) энергии и вещества внутри самой системы между отдельными ее компонентами по законам термодинамики. Такое изменение, характерное для закрытых систем, изучается во многих геологических науках. Например, в литологии, как считает акад. Н. М. Страхов, это процессы диагенеза [22].

2. Изменение системы за счет внешних воздействий, за счет взаимодействий с окружающей средой, где также имеет место энергомассоперенос. Подобные изменения происходят в открытых системах, изучаемых большинством наук геологического цикла.

С позиций управления можно выделить два вида внешних воздействий: природные (*2а*), вызывающие экзогенные и эндогенные процессы в геологических системах (в дальнейшем обозначены через Π_i), и искусственные (*2б*), связанные с любой деятельностью человека (в дальнейшем обозначены через I_j).

Инженерной деятельности человека — I_j ¹ (параметр *г* в определении грунта как системы по [9]) соответствует свой класс систем. Практика свидетельствует, что ИГ, даже решая традиционные задачи, оперирует более широким классом систем с взаимодействиями типа 1, 2, 2а, 2б. Уже поэтому необходимо выделить в литосфере новый объект изучения. Рассмотрим с этих позиций геологическую среду, которая в работе [9, с. 6] определяется так: «Под геологической средой следует понимать верхнюю часть литосферы (*ð*), которая рассматривается как многокомпонентная (*б*), динамическая (*в*) система, находящаяся под воздействием инженер-

⁹ Автор статьи не нашел определения термина «техногенные образования» в справочной и другой литературе.

¹⁰ Представление о грунте как сложной фазовой системе дано В. А. Приклонским еще в 1955 г. [17].

ной деятельности человека (г), и которая в свою очередь в известной степени определяет эту деятельность». (Последнее — обратная связь — признак открытой системы.— В. Ч.).

Анализ понятий грунт и геологическая среда приводит к выводу: если параметр ∂ считать только пространственным (территориальным) признаком системы, то при условии, что грунты (совокупность грунтов) образуют грунтовые массивы, получаем дефиницию: *геологическая среда — это совокупность всех грунтовых массивов*. Класс изучаемых систем расширился, но явно недостаточно, так как осталось в силе ограничение по I_j^1 .

Логика наших рассуждений приводит к следующим выводам: главным отличительным признаком (системообразующим фактором) систем ИГ по определению является их многокомпонентность; в ИГ следует учитывать при изучении динамики систем все типы взаимодействий (1, 2, 2а, 2б).

Таким образом, горные породы, абстрагируемые в ИГ, и их взаимодействие с окружающей средой логично представить схемой, показанной на рис. 3. Данная схема является универсальной системной моделью (УСМ) грунта, а в комплексе со схемой, показанной на рис. 2 — моделью грунтового массива и геологической среды в целом. В рамках УСМ можно выделить относительно самостоятельные модели, показанные на рис. 4. Охарактеризуем коротко область применения этих моделей.

Модели класса C_{1a} используются при решении задач ИГ, в которых главным является изучение структуры, выявление связей между элементами системы. Внешними связями пренебрегаем (окружающая среда не взаимодействует с системой или ее взаимодействие пренебрежимо мало).

Модели класса C_{1b} , изучаемые как в геодинамике, так и в региональной ИГ. Из C_{1b} моделируются более простые системы с меньшим числом компонентов и присущих им свойств и поэтому легче формализуемые. Так, можно выделить подкласс C'_{1b} , формируемый из твердой компоненты, в который входят различные расчетные схемы геодинамики (например, расчетная схема устойчивости оползня от действия P_i). Здесь P_i — совокупности любых экзогенных и эндогенных процессов.

Модели класса C_{1b} получат широкое распространение, когда большая часть поверхности Земли превратится в комплекс искусственных сооружений (при сохранении существующих тенденций развития). В настоящее время такие системы целесообразно моделировать при изучении районов с интенсивной техногенной нагрузкой (города и мегалополисы, крупные промышленные узлы и т. д.). Здесь также выделяются подклассы, например C'_{1b} , в котором системы содержат твердую компоненту (с однородной или неоднородной структурой по композиции элементов) и испытывают воздействия I_j в различных комбинациях. В C'_{1b} попадают практически все расчетные схемы, используемые в механике грунтов и механике скальных пород¹¹.

В целом деревья детализации классов систем могут ветвиться любыми способами, поэтому универсальность модели, показанной на рис. 3, заключается в том, что на ее базе могут быть «построены» практически все модели вещественного состава горных пород путем изменения числа компонентов, их свойств и взаимосвязей, образующих структуру системы, а также изменением взаимодействий с окружающей средой (композиции из P_i ; I_j). Например, оставляя в УСМ только твердое минеральное вещество, получим модель горной породы, которую можно изучать по ве-

¹¹ С системных позиций эти науки используют часть классов систем, рассматриваемых в ИГ. Дальнейшее развитие механики грунтов и скальных пород путем усложнения их моделей будет сближать эти науки с ИГ, в которой также идет процесс формализации моделей.

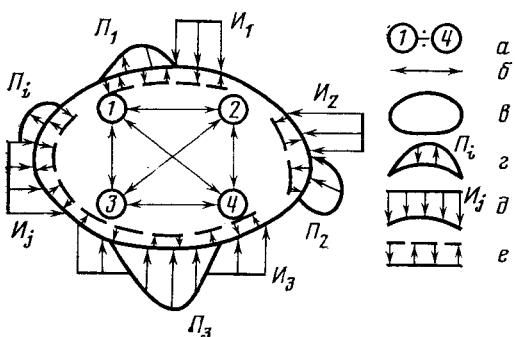


Рис. 3. Схема абстрагирования горных пород и условий их взаимодействия с окружающей средой в инженерной геологии; *a* — основные компоненты модели: 1 — твердая, 2 — жидккая, 3 — газообразная, 4 — живая, *b* — взаимодействие и взаимосвязи между компонентами, *c* — граница системы, *d* — природные воздействия на УСМ, *e* — искусственные воздействия на УСМ, *e* — реакция системы на воздействие (обратная связь)

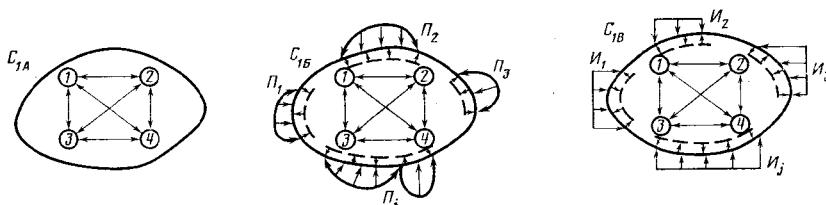


Рис. 4. Самостоятельные модели классов систем по условиям взаимодействия с окружающей средой

щественному составу при определенном наборе свойств (параметров) и связей. Видимо, логичней было бы назвать нашу модель «УСМ геологических тел».

На данной модели можно изучать и геодинамические процессы, поскольку любой процесс — это лишь взаимодействие геологических тел со средой через Π_i и I_j . Нам представляется, что данная модель может быть положена в основу системного моделирования в геологии окружающей среды, так как она формализуема, и следовательно, в ней возможно использование принципов управления в соответствии с основной экологической задачей общества. Вместе с тем, как отмечалось выше, с помощью метода индукции используя в качестве элементов УСМ те, что приведены на рис. 2, нетрудно получить системную модель геологической среды по [9]¹². Для этого достаточно ограничить воздействия типа I_j одним видом I_j^1 . Нам думается, что такое жесткое ограничение сужает возможности изучения нового объекта ИГ, и его следует снять¹³. В таком случае возникает вопрос: что понимать под горными породами, преобразованными инженерной деятельностью человека? Это самостоятельный класс систем, который, за неимением общего термина, назовем «техногенными отложениями».

4. Геологическая среда и задачи управления

При моделировании геологической среды возникают две относительно самостоятельные задачи, которые сводятся к следующему.

Абстрагируя такой сложный системный объект, как геологическая среда, необходимо вычленить его из литосферы. Как это сделать? Какие критерии положить в основу вычленения? Где проходят (точнее, где провести) границы геологической среды в литосфере?

¹² В данной статье не затрагивается определение геологической среды, данное Г. К. Бондариком [3], хотя его системная модель не противоречит УСМ для литосферы.

¹³ Отметим, что основные понятия ИГ (прежде всего «грунт», «геологическая среда»), в формулировке Е. М. Сергеева и его школы, постоянно, из работы в работу, совершенствуются. Например, в [25] воздействие I_j^1 расширено до «инженерно-хозяйственной деятельности». Однако $I_j^1 + I_j^2 \neq I_j$, поскольку любая деятельность более широкое понятие, чем инженерно-хозяйственная. Следовательно, частично ограничение сохраняется.

Вычленив объект, необходимо смоделировать его в виде системы. По каким законам композиции формировать модель геологической среды? Как учесть генетические принципы геологии? Каким образом отразить в модели роль человека в преобразовании системы, чтобы она не противоречила роли, отводимой биосфере в общей теории литогенеза?

Эти задачи относятся к общетеоретическим вопросам ИГ. Они вытекают из идеи преемственности в развитии геологических наук, из необходимости использования в системных построениях новых результатов изучения формирования, развития и современного состояния литосферы. Решение поставленных задач требуют введения постулата, который опирается на опыт производительной деятельности человека: человек оказывает на горные породы воздействия, аналогичные природным (в том числе и биосферным). Особенность его деятельности заключается не столько в изобретении новых, не присущих природе воздействий, сколько в *сознательном преобразовании горных пород и изменении условий протекания природных процессов*¹⁴.

Может сложиться впечатление, что в данном постулате нет необходимости, поскольку он вытекает из диалектического представления о человеке и биосфере как составной части природы. Однако в соответствии с принципом всеобщей связи («все связано со всем» по В. И. Ленину) при моделировании систем практически невозможно в «чистом виде» выделить только природные изменения геологических тел и (или) изменения, обусловленные только инженерно-хозяйственной деятельностью человека. Следовательно, для сохранения единой системной модели и единых условий ее изучения в динамике данный постулат необходим. Он объединяет природные силы, действующие на литосферу, и геологическую деятельность человека в рамках одной системной модели. В самом грубом виде это можно проиллюстрировать следующим примером: разработка вскрышных пород и создание карьеров аналогичны процессам денудации, а транспортировка пород и отвалообразование — процессам аккумуляции в теории литогенеза.

Отметим, что принятие в явном или неявном виде такого постулата необходимо при изучении широкого круга теоретических и практических проблем ИГ. Является ли техногенный литогенез составной частью общего процесса осадочного породообразования (литогенеза) или это самостоятельный класс, имеющий тот же ранг, что и литогенез? Каким образом управлять экзогенными и антропогенными процессами при решении региональных и локальных задач литомониторинга? Эти и другие, подобные им вопросы, решаются на основе данного постулата.

Вернемся к задачам, сформулированным в начале раздела 4. Выделение границ системного объекта невозможно без системного подхода. Как заметил М. В. Арапов: «Необходимость в системном подходе появляется тогда, когда сам объект исследования приобретает четкие контуры только после того, как будут сформулированы (хотя бы частично) основные закономерности, которым он подчиняется» [2, с. 372]. Какие же это закономерности? Чем характеризуется геологическая среда по отношению к литосфере в целом, что ее отличает? Почему возникла необходимость выделения и изучения данного объекта? Эти и другие аналогичные вопросы необходимы для того, чтобы однозначно выделить геологическую среду из литосферы.

Правила моделирования систем показывают, что границы геологической среды и ее структура могут быть получены путем изменения исход-

¹⁴ По словам Маркса, «труд даже в простейших своих проявлениях есть сознательная, целесообразная деятельность, которая предполагает целеполагание, выбор средств для достижения поставленной цели, их планомерное применение... человек не только изменяет форму того, что дано природой; в том, что дано природой, он осуществляет вместе с тем и свою сознательную цель, которая как закон определяет способ и характер его действий и которой он должен подчинять свою волю» (Соч. Т. 23. С. 189).

ного набора свойств, образующих систему; изменения их взаимосвязей (компановки свойств, образующих систему); изменения граничных условий (взаимодействий системы со средой). Но это будут разные системы. На наш взгляд, существенным недостатком теоретических схем в ИГ является их неоднозначность, т. е. в сущности компонуются совершенно разные системы, а обозначаются одним и тем же понятием.

Возможны несколько подходов к установлению нижней границы геологической среды.

1. Геологической средой считать ту часть литосферы, в которой есть возможность (включая бурение сверхглубоких скважин) отбирать образцы и исследовать многокомпонентность их состава. Косвенные методы (геофизические) не позволяют изучить многокомпонентность состава горных пород, и следовательно, их данные не являются системообразующим фактором. Такой подход к установлению нижней границы геологической среды ориентирован на потребности самой науки, ее развитие и совершенствование на определенный период, но остается в стороне от потребностей общества.

2. Нижней границей геологической среды считать границу зоны, где затухают (становятся пренебрежимо малы) локальные возмущения в литосфере, вызванные физическими полями, которые обусловлены деятельностью человека (температурные, электромагнитные поля, поля напряжений и т. д.). По системообразующему фактору учитываются прежде всего поля, изменяющие параметры горных пород как многокомпонентных по составу систем. Данный подход является более общим. Однако нижняя граница геологической среды в этом случае будет все время меняться, как, скажем, глубина «чаши протаивания» под зданием на мерзлых грунтах.

3. Нижней границей геологической среды считать границу зоны, в которой затухают техногенные загрязнения верхней части литосферы, обусловленные миграцией химических элементов и соединений, создаваемых деятельностью человека. Как правило, наиболее интенсивно процесс загрязнения осуществляется через подземную гидросферу. Другими источниками загрязнения могут быть геохимические процессы, связанные с подземной добычей полезных ископаемых и захоронением токсичных отходов промышленности. В данном случае нижняя граница геологической среды также будет «плавающей». Она устанавливается преимущественно по локальным замерам гидрохимических параметров. Такой подход представляется нам перспективным и хорошо вписывается в теоретические основы геологии окружающей среды.

4. Нижней границей геологической среды считать теоретически максимально возможную глубину проникновения человека (любыми физическими и инженерными методами) в литосферу. Данный подход позволяет использовать при моделировании систем в геологии окружающей среды в качестве функции цели общее положение гомеостазиса: обеспечение оптимальных условий существования биосферы и человека как ее составной части. Именно поэтому такой подход и должен стать основным, тем более что он согласуется с основной целью исследований экологических процессов глобального масштаба: «определение границы области стабильности процесса развития человечества» [10].

В разделе 2 указывалось, что неконтролируемые и неуправляемые изменения параметров атмосферы и литосферы, вызванные деятельностью человека, могут иметь для него катастрофические последствия. Поэтому все воздействия общества на атмосферу и литосферу должны носить ограниченный и управляемый характер. В частности, *воздействия на литосферу не должны превышать пределов, вызывающих ее переход в качественно новое состояние, в котором она не обеспечит защиту живого от глубинных сил Земли*. Основная трудность состоит в том, что пока нет расчетных методов, позволяющих определить, какую антропо-

генную нагрузку в состоянии выдержать без нарушения своих защитных функций литосфера. К тому же неизвестно, насколько глубоко человек сумеет проникнуть в литосферу прямыми методами. Следовательно, качественный системный анализ не дает ответа на вопрос о нижней границе геологической среды, но позволяет сделать вывод, что предельная глубина проникновения человека в литосферу носит объективный характер¹⁵.

По заданной функции цели сформулируем понятие о геологической среде: *Геологическая среда — это верхняя часть литосферы, которая поглощает вещественный и энергетический поток, поступающий в нее от человеческого общества путем частичного изменения своего состояния и структуры, обеспечивая тем самым сохранение защитных функций литосферы для биосферы в целом.* Разумеется, как и любая открытая система, геологическая среда (из условия сохранения своей целостности) может поглощать и (или) трансформировать вполне определенный объем вещественного и энергетического потока из окружающей среды, превышение которого переводит систему в качественно иное состояние. Следовательно, такое понимание геологической среды близко представлению В. И. Вернадского о геосферах, которые он рассматривал «как области разнообразных динамических физико-химических равновесий, стремящихся достигнуть устойчивого состояния, непрерывно нарушающегося вхождением в них чуждых данному динамическому равновесию проявлений энергии» [5, с. 69].

Образно выражаясь, геологическая среда — это барьер, который ставит планета Земля на пути человеческой экспансии в ее глубины, и, сохранив защитные свойства (параметры) литосферы, обеспечивает безопасность человека от активизации своих внутренних сил. Все это позволяет сопоставлять геологическую среду с поверхностным слоем планеты, изучаемым в геохимии, поскольку ее также интересует слой литосферы, взаимодействующий с окружающей средой¹⁶.

Налицо предпосылки общего подхода к объекту изучения в новой науке — геологии окружающей среды. В рамках такого подхода отчетливо прослеживаются проблемы и специфика исследований непосредственно в ИГ, о которых шла речь в разделе 1. Однако такое определение геологической среды слишком широко для использования в конкретных теоретических и практических задачах, для которых нужны промежуточные объекты более низкого ранга. Их вычленение следует проводить с учетом целевых задач управления окружающей средой и знания законов формирования горных пород и техногенных отложений.

Перейдем теперь к законам композиции, по которым создается системная модель геологической среды. В разделе 3 специально не был затронут вопрос формирования систем, не отражена специфика возникновения геологических тел как систем, не учтен генетический фактор. Такой прием, как нам кажется, позволил более четко показать использование принципа системности в ИГ. Однако ИГ не мыслится без генетического подхода к объектам изучения. Поэтому рассмотрим условия формирования систем.

Как отмечалось в разделе 3, любые классы систем в УСМ геологических тел (деревья детализации) получаются путем изменения числа компонентов и (или) законов их композиции. Из всех возможных систем например, выделим:

¹⁵ Проведем грубую аналогию. Сегодня нетрудно рассчитать предельно допустимую глубину проникновения коррозии внутрь стенок напорных труб, чтобы не нарушить целостность системы. В будущем подобные расчеты применительно к взаимодействию человека с литосферой станут необходимыми при создании глобальных экологических моделей.

¹⁶ Может сложиться впечатление, что только литосфера наделена такой целевой функцией — способностью создавать буферную зону (барьер). Однако это свойство присуще любым телам. Его можно сформулировать так: любая вещественная система при изменении окружающей среды в свою очередь претерпевает изменения прежде всего на границе со средой.

C_1 — системы, компоненты которых 1 — твердая, 2 — жидккая, 3 — газообразная, 4 — живая (или отдельные компоненты с разными характеристиками) расположены хаотично, создавая статистически упорядоченный (или однородный) массив. В этом массиве нельзя выделить промежуточные образования более низкого ранга — подсистемы, т. е. существуют только C_1 — системы с компонентами 1—4.

C_2 — системы, в которых имеются зоны (участки) определенной упорядоченности, т. е. в рамках системы выделяются тела (подсистемы) рангом ниже с компонентами 1—4, расположенные по определенному закону. Следовательно, $C_2 = C_2^1 + C_2^2 + \dots + C_2^i + \dots + C_2^n$, где $C_2^1, C_2^2, \dots, C_2^n$ — подсистемы, имеющие свой закон упорядочивания. В свою очередь выделение структур и установление связей на уровне C_2^i приводит, хотя и необязательно, к образованию подсистем более высоких рангов и созданию нового типа систем $C_3 = C_3^1 + C_3^2 + \dots + C_3^n$, где $C_3^1 = = C_2^1 + C_2^2 + C_2^3, C_3^2 = C_2^4 + C_2^5 + \dots$ и т. д. — подсистемы, в которых упорядочивание осуществляется по законам композиции на уровне C_2^i .

Таким образом, на основе УСМ геологических тел можно сформировать любое число подсистем разных рангов, используя различные (произвольные) законы взаиморасположения и взаимосвязей между компонентами систем. Эта полная группа систем моделирует всевозможные геологические тела. Возникает вопрос: все ли эти системы реализуются на Земле при образовании горных пород, ассоциаций и литосферы в целом?¹⁷

В теории литогенеза [22] показано, что условия формирования осадочных отложений характеризуются вполне определенными законами композиции — теория содержит определенный набор таких законов. Следовательно, на Земле существуют не все возможные классы и подклассы систем и не все возможные их ранги, а только те, которые допускаются реальными для Земли законами композиций. Не исключено, что сегодня мы знаем не все эти законы, и они будут в дальнейшем неоднократно дополняться, пересматриваться и уточняться. Однако в любом случае законы композиции элементов в естественных геологических телах-системах не должны и не будут вступать в противоречие с физическими законами. Например, пролювиальные отложения образуют фашиальные зоны, обусловленные сортировкой материала за счет скорости транспортировки и осаждения. Закон композиции один — от крупнообломочного материала в устье к тонкодисперсному на периферии. Хотя теоретически можно рассмотреть и другие компоновки элементов, вплоть до обратной природной.

Появление на Земле нового геологического фактора — производительной деятельности человека — приводит к возникновению ранее не существовавших классов геологических систем, создаваемых по законам композиций, возможным и невозможным в природных условиях; невозможным, как правило, не в силу появления принципиально новых видов воздействий, а в силу необходимости дополнительных, по отношению к природным, энергетических затрат (тот же «демон Максвелла»). Скажем, человек, находясь в устье водного потока, с помощью специальной технологии может обеспечить компоновку транспортируемых обломочных материалов, обратную природной. В данном случае образуются не пролювиальные отложения — естественные геологические тела, а новый класс геологических систем — техногенные отложения, в формировании которых принимают участие два фактора: природные P_i и искусственные I , воздействия. Помимо дополнительных энергетических затрат такие тела-системы несут в себе (в своей структуре) отпечаток еще одной стороны человеческой деятельности — ее целенаправленный характер.

¹⁷ Философская сторона данного вопроса, касающаяся проблемы познания окружающего мира, нами не затрагивается.

Однако вмешательство человека в ход природных процессов не ограничивается формированием лишь техногенных отложений. Используя горные породы как источник вещества и энергии, человек создает еще один класс геологических систем — искусственные геологические тела, к которым следует отнести жилые дома, промышленные здания и другие инженерные конструкции. Возникшая на поверхности литосферы, все эти новые геологические образования становятся ее органической частью, находятся в тех же условиях и испытывают те же воздействия, что и природные массивы горных пород.

Вышеизложенное приводит к выводу о том, что любые ныне существующие геологические тела, любые комплексы осадочных горных пород и техногенных отложений возникли (и возникают) путем стадийной трансформации исходных систем (материнских пород) под влиянием природных воздействий (2а) в различных комбинациях (сюда же входит взаимодействие живого вещества с литосферой), и искусственных воздействий (2б), вызванных деятельностью человека.

Следовательно, по видам воздействий и возможности управления генезисом все генетические типы континентальных отложений можно объединить в три класса:

1-й класс — природные геологические тела-системы, сформированные при действии 2а.

2-й класс — искусственные геологические тела-системы, сформированные при действии 2б.

3-й класс — техногенные отложения, обязанные своим происхождением действию 2а и 2б.

При такой классификации город, например, точнее, его общественные и промышленные здания, мосты, эстакады относятся ко второму классу, а отвалы вскрытых пород, плотины, дамбы и насыпи, «геотехногенные массивы» и многое другое — к третьему. Конечно, если использовать более широкий термин «образование», то 2-й и 3-й классы можно объединить в один — «техногенные образования». Такой термин упрощает задачу систематизации, поскольку отпадает необходимость в строгом наборе признаков (по степени преобразования горных пород человеком), отделяющих 2-й класс от 3-го, хотя интуитивно различия между ними понимаются всеми. Вместе с тем, с позиций управления генезисом сохранение 2-го и 3-го класса предпочтительнее, так как предлагаемое нами выделение в геологической среде классов систем обосновано не только существованием единого системообразующего фактора, но и возможностью однозначного решения задач управления структурными частями геологической среды при любых видах инженерно-хозяйственной деятельности человека. Если сегодня общество имеет возможность полного управления искусственными геологическими телами и контролирует процессы, протекающие в техногенных отложениях, то возможности управления природными геологическими массивами у человечества пока весьма и весьма ограничены. В последнем случае оптимизация системы «общество — окружающая среда» возможна прежде всего за счет управления антропогенными нагрузками, т. е. производственной деятельностью человека, техникой и технологией. Следует помнить, что в соответствии с принципом всеобщей связи динамика геологических тел, объединенных в понятии «геологическая среда», является результатом совместного действия природных и искусственных факторов, что должно учитываться при реализации задач управления.

5. Системная модель управления техногенным литогенезом

Логическим продолжением задачи о законах композиции и их роли в формировании модели геологической среды и одновременно следствием постулата, сформулированного в разделе 4, будет тезис: **техногенный литогенез (техногенез) является новым (особым) типом «единого процесса осадочного породообразования».**

Применение этого тезиса дает единство представлений о генезисе и постгенетических изменениях любых геологических образований, возможность использования в ИГ теоретических моделей других геологических наук, прямую связь с общей теорией управления, в частности, с теорией конструирования сложных систем и управления ими. С точки зрения последней, *техногенез — это литогенез со «встроенным» блоками управления и воздействия* [4, 28]¹⁸.

Такое обобщение позволяет объединить в границах одной системной модели любые задачи управления в ИГ — как задачи управления различными экзогенными процессами, так и задачи, связанные с инженерным конструированием грунтов («создание геотехногенных массивов»

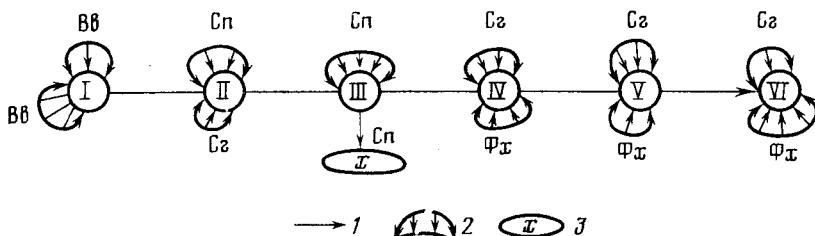


Рис. 5. Принципиальная схема системной модели литогенеза. I — исходная система (материнская порода), II — подвижная система (перевод вещества системы в подвижное состояние), III — движущаяся система (перенос осадочного материала и частичное отложение), IV — перемещенная система (окончательное осаждение), V — трансформированная система (преобразование осадков в породу), VI — конечная система (осадочная порода); 1 — направление процесса изменения системы; 2 — внешние воздействия на систему: Вв — выветривание, Сп — силовой поток, Сг — силы гравитации, Фх — физико-химические и биологические воздействия; 3 — промежуточный этап образования осадочных пород

по В. И. Осипову и др. [11—13], или «создание техногенно-геохимических систем» по С. Д. Воронкевичу [6].

Покажем ход наших рассуждений при создании системной модели техногенеза и средств управления ею. Как известно, теория литогенеза базируется на аксиоматических положениях типа:

любая осадочная порода является продуктом деятельности каких-либо процессов (выветривание, денудация, аккумуляция и т. д.), формируется в конкретных условиях (климат, тектонический режим и т. д.) и накапливается на определенных территориях (водосборные площади, конечные водоемы стока и т. д.);

в формировании определенных типов осадочных пород принимают участие несколько взаимоотносимых процессов (факторов), вызывающих фазовую дифференциацию веществ. Среди этих факторов выделяются основные и вспомогательные. Основной фактор (или группа факторов) создает данный тип отложений, а вспомогательные — отклоняют «текущее» основного, образуя по Л. И. Четверикову «иерархическо-мозаичное строение породы» [29].

Практика показывает, что подобная аксиоматика применима к процессам техногенеза.

На рис. 5 приведена принципиальная схема системной модели литогенеза, основанная на теоретических представлениях Н. М. Страхова [22]. Данная модель состоит из ограниченного набора параметров (внешних воздействий), но степень влияния каждого из них варьирует очень широко. Поэтому, хотя каждое из воздействий причинно обус-

¹⁸ Управление искусственными геологическими телами не входит в компетенцию ИГ. В этом случае службы эксплуатации зданий и инженерных сооружений (прежде всего, I категории) должны учитывать рекомендации ИГ по прогнозированию их поведения как специфических геологических образований.

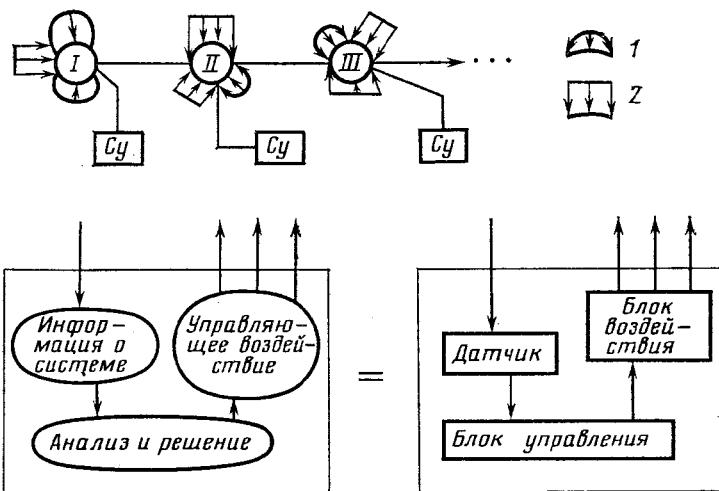


Рис. 6. Системная модель техногенеза (вверху) и блок управления; 1 — природные воздействия, 2 — искусственные воздействия.

ловлено, их совокупность в конкретных пространственно-временных точках массива осадочных пород носит случайный характер. Происходят отклонения от первоначального развития процесса, он усложняется или даже сменяется другим. В системной модели литогенеза отклонения и вариации внешних воздействий не носят целевого характера. Процесс может стать целенаправленным, если в него ввести управляющие воздействия такой интенсивности, чтобы случайные колебания не превышали величин, допустимых для нормального функционирования системы. Или, говоря языком теории управления, чтобы возможные состояния управляемой системы находились в области допустимых состояний.

Поскольку с системных позиций техногенные отложения — продукт деятельности человека как геологического фактора, а с общегеологических позиций техногенный литогенез аналогичен процессу литогенеза, то вводя в системную модель литогенеза систему управления (СУ), получаем системную модель техногенеза (рис. 6). Как видно из рисунка, в общем случае предлагаемая нами система управления не имеет принципиальных отличий от стандартной в теории конструирования сложных систем. Последовательность операций по составлению системной модели техногенеза такова:

процесс техногенеза, характеризующийся сменой состояний исходной системы, разбивается на ряд последовательных участков — «блоков», одинаковых по смысловому содержанию;

число блоков определяется классом решаемых задач. При создании моделей для ЭВМ число независимых параметров, включаемых в модель, и пространство их возможных состояний зависят от мощности машины;

связь между блоками является фазовым переходом, или, с позиций диалектики, качественным скачком;

последовательность расположения блоков (композиция системы) носит направленный характер и не может быть произвольно изменена при сохранении целей системы.

Введение системы управления (СУ) позволяет рассматривать модель как детерминированную систему, которая предусматривает на всех этапах техногенного литогенеза сохранение ее параметров в заданных границах.

Системная модель техногенеза должна учитывать следующие инженерно-геологические факторы. Любая горная порода имеет группу ха-

рактеристик, которые однозначно обеспечивают поведение (отклик) породы при различных инженерных воздействиях человека. К таким характеристикам относятся: состав породы, ее структура и текстура (строение породы), тип структурных связей, степень литификации, состояние породы и т. п.

По степени управляемости эти характеристики могут быть разделены на неуправляемые, частично управляемые и полностью управляемые [4]. Неуправляемых характеристик немного. Это прежде всего вещественный состав породы, который обусловлен ее генезисом. К полностью управляемым следует отнести все инженерные воздействия человека, направленные таким образом, чтобы одновременно с решением основной задачи (формирование техногенных массивов) «улучшать» физико-механические характеристики пород. Поскольку часть физико-механических характеристик обусловлена постгенетическими процессами, то управление возможно путем воздействия на определенные характеристики пород, обеспечивающую их постоянство на заданном промежутке времени, а также воздействия на постгенетические процессы.

Отметим, что предлагаемая системная модель техногенеза может использоваться при решении любых задач управления в ИГ. Например, если решаются задачи литомониторинга (в узком смысле слова), то управляющие воздействия исходят из единой управляющей системы и направлены как на грунтовый массив, так и на инженерные сооружения, взаимодействующие с ним, что повышает уровень оптимизации в задачах динамического равновесия геологической среды.

В заключение автор еще раз обращает внимание читателей на необходимость широкого использования принципа системности при решении теоретических и практических задач инженерной геологии и неразрывную связь проблем моделирования систем и проблем управления ими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энгельс Ф. Диалектика природы. М.: Политиздат, 1975. 359 с.
2. Арапов М. В. Системный анализ логической структуры текстов//Системные исследования. Ежегодник-1980. М.: Наука, 1981. С. 372—404.
3. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. М.: Недра, 1981. 256 с.
4. Вахтанова А. Н., Черняев В. Ф., Литвинова В. М. Управление техногенным литогенезом при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом//Инж. геология. 1986. № 1. С. 23—31.
5. Вернадский В. И. Очерки геохимии. М.: Наука, 1983. 422 с.
6. Воронкович С. Д. О техногенно-геохимических системах в инженерной геологии//Инж. геология. 1980. № 5. С. 3—13.
7. Воскобойников В. М. Перспективы системного подхода к современным проблемам инженерной геологии//Изв. вузов. Геол. и разн. 1979. № 12. С. 117—122.
8. Геологический словарь. Т. 2. М.: Недра, 1978. 455 с.
9. Грунтovedение/Под ред. Сергеева Е. М. М.: Изд-во МГУ, 1983. 392 с.
10. Крапивин В. Ф., Свиридов Ю. М., Тарко А. М. Математическое моделирование глобальных биосферных процессов. М.: Наука, 1982. 272 с.
11. Мельников Б. Н., Несторов А. И., Осипов В. И. Геотехногенные массивы как новый вид оснований инженерных сооружений//Инж. геология. 1985. № 2. С. 11—21.
12. Мельников Б. Н., Несторов А. И., Осипов В. И. Создание геотехногенных массивов в основании инженерных сооружений на лёссах//Инж. геология. 1985. № 6. С. 3—14.
13. Мельников Б. Н., Иваненко В. И., Осипов В. И., Несторов А. И. Принципы создания геотехногенных массивов и методов их расчета//Инж. геология. 1986. № 5. С. 22—32.
14. Мусеев Н. Н. Человек, среда, общество. М.: Наука, 1982. 239 с.
15. Мусеев Н. Н., Александров В. В., Тарко А. М. Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперимента с моделями. М.: Наука, 1982. 272 с.
16. Николаев Н. И. Вопросы глобальной неотектоники и геодинамики литосфера в связи с научно-технической революцией в геологии//Изв. вузов. Геол. и разн. 1984. № 8. С. 6—17.
17. Приклонский В. А. Грунтovedение. М.: Геолтехиздат, 1955. Ч. I. 430 с.
18. Сагатовский В. Н. Системная деятельность и ее философское осмысление//Системные исследования. Ежегодник-1980. М.: Наука, 1981. С. 84—109.

19. Сергеев Е. М., Мельникова К. Т. Идеи В. И. Вернадского о иоосфере и дальнейшее развитие инженерной геологии//Вестн. МГУ. 1963. № 1. С. 43—52.
20. Сергеев Е. М. О будущем инженерной геологии//Вестн. МГУ. 1974. № 1. С. 28—36.
21. Сергеев Е. М., Баулин В. В., Парабучев И. А. Инженерная геология на XXVI сессии Международного геологического конгресса//Инж. геология. 1981. № 3. С. 3—10.
22. Страхов М. Н. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. 211 с.
23. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы/Под ред. Сергеева Е. М. М.: Недра, 1985. 332 с.
24. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы/Под ред. Сергеева Е. М. М.: Недра, 1985. 289 с.
25. Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты/Под ред. Сергеева Е. М. М.: Недра, 1985. 259 с.
26. Уемов А. И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. 272 с.
27. Флейшман Б. С. Основы системологии. М.: Радио и связь, 1982. 268 с.
28. Черняев В. Ф., Семилеткин С. М. К вопросу управления напряженным состоянием техногенных массивов (на примере высоких насыпей автодорог).—Деп. в ЦБНТИ Минавтодор РСФСР № 124—АД. 1986. 41 с.
29. Четвериков Л. И. Методологические основы опробования пород и руд. Воронеж. ВГУ, 1980. 183 с.
30. Четвериков Л. И. Теоретические основы разведки недр. М.: Недра, 1984. 156 с.

Воронежский государственный
университет

Поступила в редакцию
13.I.1987

УДК 624.131.4

ТРОФИМОВ В. Т., ГОРСКИЙ М. Р.

**НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ К ПОЗНАНИЮ
МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ
ПРОСАДОЧНОСТИ У ПЫЛЕВАТЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОРОД**

Введение. В последние годы получены важные экспериментальные данные о возможности формирования син- и эпигенетической просадочности у отложений разного генезиса в ходе прогрессивного литогенеза. Б. Ф. Галай [1, 4], Н. В. Коломийцев [2], В. А. Королев и О. Н. Еремина [5] опубликовали материалы лабораторного физического моделирования формирования сингенетической просадочности эоловых отложений. Аналогичные данные применительно к накоплению пролювиальных и делювиальных отложений получены В. Т. Трофимовым и В. С. Бондаренко [6]. Результаты моделирования формирования эпигенетической просадочности у отложений водного генезиса опубликованы в серии статей В. Т. Трофимовым и В. С. Бондаренко с соавторами [6—9], Н. Н. Комиссаровой и Н. В. Коломийцевым [3].

На основе данных лабораторных экспериментов убедительно было показано [7—9], что эпигенетическая просадочность у аллювиальных образований формируется вследствие дегидратации высокопористых пылеватых супесчано-суглинистых пород скрытослоистой или ленточно-слоистой микрофации пойменного аллювия при изменении их термовлажностного режима. Просадочность у таких высохших молодых пород проявлялась в ходе экспериментов только при нагрузках, превышающих природные, что в целом соответствует гипотетической логико-графической схеме Н. Я. Денисова для аллювиальных отложений.

В ходе дальнейших работ исследовалось влияние на формирование такой по генезису просадочности аллювиальных пород внешней пригрузки, действующей на образец-монолит в процессе уменьшения влажности грунта, а также скорости ее снижения в ходе экспериментов. Методика, объекты исследования и полученные данные описываются ниже.

Методика исследований. Проведенные работы включали четыре серии экспериментов: 1) высушивание образцов-монолитов современных аллювиальных пород, отобранных в разрезе ежегодно заливаемой поймы, на воздухе без какой-либо внешней нагрузки; 2) то же при действии дополнительной внешней нагрузки; 3) высушивание образцов-монолитов тех же пород с большей скоростью за счет их обдува вентилятором без какой-либо внешней нагрузки; 4) то же при действии дополнительной внешней нагрузки.

В первой серии опытов образцы-монолиты в лабораторных условиях вскрывались сверху (изоляционный слой с боков и снизу оставлялся) и подсушивались на воздухе при температуре 20°С (на любой элементарный слой такого образца действовало в этом случае очень небольшое давление — только вес вышележащих пород). Через 7—10 сут из верхней части подсущенных монолитов вырезались кольца стандартного размера (площадь 40 см², высота 2 см) для определения величины просадочности методом одной кривой в компрессионном приборе конструкции ЦНИИ МПС при данной влажности. Оставшаяся часть монолитного образца продолжала подсушиваться на воздухе. Через такой же про-

межуточном времени описанные операции по отбору колец грунта для определения просадочности и дальнейшему подсушиванию оставшейся части монолита повторялись. В итоге были получены данные о просадочности исходных (при естественной влажности и плотности) и подсущенных аллювиальных пород при разной их влажности (3—4 значения) и нагрузках 0,05; 0,1 и 0,3 МПа.

Во второй серии опытов подсушивание образцов-монолитов современных аллювиальных образований и определение их просадочных свойств в целом проводились аналогичным путем. Принципиальное отличие методики работ в этой серии экспериментов заключалось в том, что подсушивание образцов осуществлялось при постоянном воздействии дополнительной внешней нагрузки (0,01—0,02 МПа). В этом случае каждый монолит после вскрытия его сверху устанавливался в специально изготовленную разъемную латунную камеру — обойму (рис. 1) и закрывался сверху перфорированным поршнем особой конструкции. На поршень устанавливали груз, соизмеримый с действовавшим на образец весом вышележащих пород при его естественном залегании в массиве на определенной глубине. Перфорация и двухслойность поршня обеспечивала уменьшение влажности породы, но скорость подсыхания ее была меньше, чем у параллельно подсыхавших непригруженных близнецовых монолитов.

Третья серия опытов — подсушивание образцов-монолитов со скоростью большей, чем в первой серии экспериментов. Увеличение скорости подсушивания достигалось с помощью «прогонки» воздуха с температурой около 20°С над поверхностью образцов-монолитов с помощью комнатного вентилятора «Апшерон» мощностью 55 Вт, способного при максимальном числе оборотов переместить до 30 м³ воздуха в 1 мин. Исследуемые образцы размещались на разных расстояниях от вентилятора (0,5; 0,75 и 1 м); это обеспечивало их обдув потоком воздуха разной интенсивности.

Следует подчеркнуть, что образцы, расположенные на разном расстоянии от вентилятора, подсыхали с неодинаковой скоростью. Поэтому отбор грунта из верхней их части в кольца компрессионных приборов проводился в разное время, чтобы влажности подсохших образцов были достаточно близкими.

Последняя серия экспериментов — «ускоренное» подсушивание образцов-монолитов под дополнительной нагрузкой 0,01—0,02 МПа. Оно осуществлялось, как и в третьей серии экспериментов, продувкой воздуха с температурой около 20°С с помощью вентилятора над поверхностью монолитного образца, помещенного в вышеописанную камеру-обойму, на верхнюю часть поршня которой помещен груз. Расположение камер-обойм на разных расстояниях от вентилятора позволяло менять скорость подсушивания пригруженных образцов.

Отметим, что исследования второй и четвертой серий опытов в камере-обойме на одном монолите можно проводить одновременно. Для этого на поршне, в нем (между двумя его перфорированными пластинаами) и в верхней части монолита создается тонкая (но высокая и широкая над поршнем) металлическая перегородка, ориентированная перпендикулярно току воздуха от вентилятора. В итоге перед этой перегородкой воздух продувается вентилятором, а непосредственно за ней — его движение не происходит.

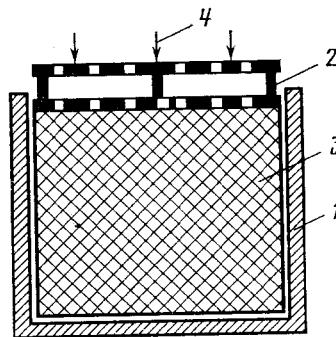


Рис. 1. Камера-обойма для подсушивания образцов-монолитов под нагрузкой: 1 — разборный ящик-обойма; 2 — перфорированный «двуслойный» поршень; 3 — монолит грунта; 4 — груз

Таблица 1

Гранулометрический (Г) и микроагрегатный (М) состав современных аллювиальных пород, использовавшихся при моделировании

Номер образца	Место отбора образца	Глубина отбора, м	Состав	Содержание частиц по фракциям (диаметр в мм), %					Название грунта по классификации Н. А. Качинского (С. С. Морозова)
				5	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	
1	Левый берег Оби в районе пос. Октябрьский	1,5—1,7	Г М	30 41	45 45	3 1	10 10	12 3	Суглинок легкий (легкий лессовидный суглинок)
2	Левый берег Оби, левый берег протоки Алешкинская, 3 км ниже пос. Сергины	1,8—2,0	Г М	5 11	50 57	10 7	15 18	20 7	Суглинок тяжелый (средний лессовидный суглинок)
3			Г М	8 13	54 57	8 8	9 15	21 7	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)
4	Левый берег Оби близ устья Иртыша, устье протоки Березовой	1,8—2,0	Г М	22 38	40 42	13 11	10 7	15 2	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)
5	Левый берег Оби близ устья Иртыша, правый берег протоки Березовой в 2 км выше ее устья	2,0—2,2	Г М	17 25	48 54	10 6	8 8	17 7	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)
6			Г М	13 27	48 57	16 8	5 6	18 2	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)
7			Г М	25 33	43 58	11 3	7 2	14 4	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)
8			Г М	20 37	45 55	11 2	9 4	15 2	Суглинок средний (средний лессовидный суглинок)

Состав и свойства образцов, использованных при физическом моделировании. Образцы современных аллювиальных отложений были отобраны, как и при более ранних наших экспериментах [6—9], в разрезе ежегодно затапливаемой поймы рек Оби и Иртыша. Глубина их отбора — 1,5—2,2 м (табл. 1). Все они являются образованиями скрытослойстой (по Е. В. Шанцеру) микрофации пойменного аллювия.

По гранулометрическому составу среди изученных образцов преобладают суглинки средние (см. табл. 1). Содержание пылеватых частиц в этих образцах составляет 58—75%, а крупнопылеватых — 40—54%. Песчаные частицы представлены в основном тонкой фракцией (0,1—0,05 мм). В природной обстановке тонкодисперсная составляющая пород сильно агрегирована: выход глинистых частиц составляет при микроагрегатном анализе 2—7% (по пробам, отобранным из грунтов с естественной влажностью).

Все грунты характеризуются в основном кварцевым составом песчаных частиц и преобладанием гидрослюд, в разной степени монтмориллонитизированных — в глинистой фракции. Образцы незасоленные: сухой остаток водной вытяжки составляет 0,013—0,061%, рН ее — 6,3—6,7. Содержание карбонатов не превышает 0,08% и в большинстве случаев составляет 0,01—0,03%.

Таблица 2

Естественная влажность и свойства аллювиальных пород, использовавшихся при моделировании

Номер образца	Естественная влажность, %	Степень влажности	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Влажность пределов пластичности, %		Максимальная молекулярная влагоемкость, %
			грунта	скелета грунта			верхнего	нижнего	
1	26	0,71	1,69	1,34	49	0,98	29	21	11
2	31	0,81	1,72	1,32	49	0,96	38	26	18
3	29	0,81	1,75	1,36	48	0,92	36	23	17
4	34	0,84	1,70	1,26	52	1,09	37	30	16
5	35	0,85	1,71	1,27	52	1,07	38	27	16
6	35	0,87	1,74	1,29	51	1,09	36	28	17
7	32	0,87	1,77	1,34	49	0,99	37	28	15
8	34	0,86	1,73	1,29	51	1,05	39	30	18

Строение всех без исключения образцов скелетное. Пористость грунтов высокая — 48—52%, прослеживаются отдельные крупные макропоры, в основном вертикально ориентированные.

Естественная влажность и свойства пород, использованных при лабораторном физическом моделировании, охарактеризованы в табл. 2. Они свидетельствуют о высокой влажности пород в массиве, которая почти у половины образцов приближается к значению влажности верхнего предела пластичности.

Подчеркнем, что обр. 2—3 и особенно 5—8 близки между собой по составу и свойствам. Это по-существу образцы-близнецы, отобранные специально из одного участка массива пойменных отложений. К последней серии обр. (5—8) достаточно близок почти по всем показателям обр. 4.

Результаты моделирования формирования просадочности аллювиальных отложений при действии различных нагрузок. Данные, полученные по этому вопросу в ходе экспериментов первой и второй серий, приведены в табл. 3 и 4, часть из них графически представлена на рис. 2 и 3.

Материалы опытов первой серии показали, что все изученные разности высоковлажных непросадочных пойменных пылеватых суглинков при подсушивании их на воздухе без внешней пригрузки до низких значений влажности (15% и ниже), несмотря на развитие усадки и снижение пористости (с 49—52 до 43—45%), приобрели отчетливо выраженные просадочные свойства. Они проявляются только при нагрузках 0,1 и 0,3 МПа (см. табл. 3, рис. 2 и 3), существенно превышающих нагрузку, действовавшую на образец в массиве. В этом отношении результаты экспериментов первой серии полностью совпадают с данными, полученными нами в процессе более ранних работ, проведенных на образцах-монолитах, отобранных и в близлежащих, и в значительно удаленных массивах поймы рек Обь и Иртыш [6—9].

Опыты второй серии убедительно показали, что и при действии постоянной внешней нагрузки в процессе подсушивания пылеватых аллювиальных суглинков на воздухе также формируется эпигенетическая просадочность (см. табл. 4). Она проявляется только при нагрузках 0,1 и 0,3 МПа и при значениях влажности меньших 15%. Просадочность и в этом случае закономерно возрастает по мере снижения влажности (см. рис. 3, табл. 4).

Величина коэффициента относительной просадочности при подсушивании образцов на воздухе при действии постоянной дополнительной нагрузки (ее величина равна 0,01—0,02 МПа) составляла при давлениях 0,1 и 0,3 МПа и влажности образцов 10—14% 0—0,010 и 0,016—0,20 соответственно; при влажности 4—6% она возросла до 0,011—0,012 и

Таблица 3

Результаты определения просадочности аллювиальных пород, исходных и подсущенных на воздухе без обдува вентилятором и дополнительной пригрузки

Номер образца	Влажность	Степень влажности	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент относительной просадочности при нагрузке (в МПа)		
			грунта	скелета грунта			0,03	0,1	0,3
1	26	0,71	1,69	1,34	49	0,98	0	0	0
	18	0,52	1,61	1,36	48	0,96	0	0,005	0,010
	12	0,35	1,55	1,38	47	0,93	0	0,008	0,016
	6	0,20	1,55	1,46	45	0,82	0	0,012	0,022
2	31	0,81	1,72	1,32	49	0,96	0	0	0
	21	0,57	1,60	1,32	49	0,96	0	0	0
	10	0,30	1,54	1,40	46	0,86	0	0,016	0,023
	5	0,18	1,52	1,44	44	0,81	0	0,018	0,029
4	34	0,84	1,70	1,26	52	1,09	0	0	0
	22	0,64	1,67	1,36	48	0,94	0	0	0
	9	0,30	1,63	1,50	43	0,76	0	0,013	0,017
	5	0,18	1,59	1,51	43	0,75	0,002	0,019	0,026
7	32	0,87	1,47	1,34	49	0,99	0	0	0
	21	0,64	1,69	1,39	47	0,92	0	0	0
	14	0,43	1,62	1,42	46	0,88	0	0,010	0,014
	7	0,25	1,58	1,47	44	0,82	0	0,017	0,022
8	34	0,86	1,73	1,29	51	1,05	0	0	0
	21	0,60	1,67	1,38	48	0,92	0	0	0
	12	0,36	1,58	1,41	47	0,89	0	0,011	0,020
	5	0,16	1,52	1,45	45	0,88	0	0,017	0,031

Таблица 4

Результаты определения просадочности аллювиальных пород, исходных и подсущенных на воздухе без обдува вентилятором под дополнительной нагрузкой

Номер образца	Влажность, %	Степень влажности	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент относительной просадочности при нагрузке (в МПа)		
			грунта	скелета грунта			0,03	0,1	0,3
3	29	0,81	1,75	1,36	48	0,92	0	0	0
	21	0,58	1,65	1,37	48	0,91	0	0	0
	10	0,30	1,55	1,41	46	0,86	0	0,010	0,019
	8	0,24	1,55	1,41	45	0,82	0	0,014	0,021
5	35	0,84	1,71	1,27	52	1,07	0	0	0
	20	0,56	1,65	1,38	48	0,90	0	0	0
	14	0,43	1,59	1,39	47	0,89	0	0	0,020
	6	0,20	1,50	1,41	46	0,86	0	0,011	0,024
6	35	0,88	1,74	1,29	51	1,03	0	0	0
	22	0,63	1,68	1,38	48	0,90	0	0	0
	10	0,34	1,62	1,47	44	0,79	0	0,010	0,016
	4	0,14	1,59	1,53	42	0,72	0	0,012	0,019

Примечание: обр. 3 и 6 подсушивались при действии дополнительной нагрузки 0,01 МПа, обр. 5—0,02 МПа.

0,019—0,024. Это несколько меньше, чем значения этого же показателя у образцов-близнецов, подсушивание которых проводилось на воздухе без внешней пригрузки (см. табл. 3 и 4, рис. 3).

Результаты моделирования формирования просадочности аллювиальных отложений при различной скорости их подсушивания. Сведения

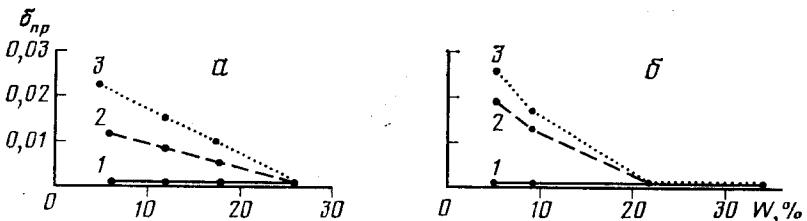


Рис. 2. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсушенных аллювиальных суглинков от влажности и действующего при замачивании давления: *а* — обр. 1; *б* — обр. 4; кривые 1—3 соответствуют различным давлениям, действовавшим при замачивании образцов (1 — 0,03 МПа; 2 — 0,1 МПа; 3 — 0,3 МПа)

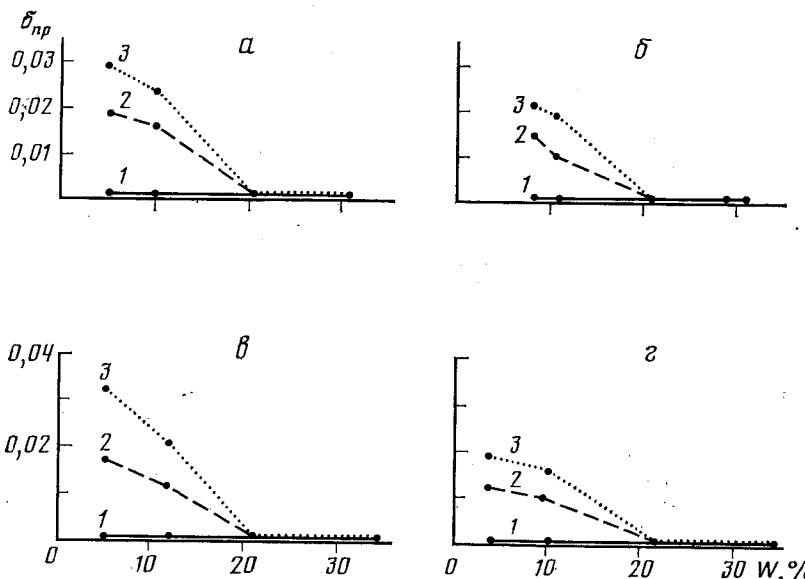


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсушенных при разных условиях пригрузки аллювиальных суглинков от влажности и действующего при замачивании давления: *а* и *в* — обр. 2 и 8 соответственно подсушивались без какой-либо внешней пригрузки; *б* и *г* — образцы-близнецы 3 и 6 соответственно подсушивались при нагрузке 0,01 МПа (1, 2 и 3 — см. рис. 2)

по этому вопросу могут быть получены путем сравнения данных, приведенных в табл. 3 и 5.

Исходя из существующих теоретических представлений и экспериментальных данных для паст и глинистых грунтов, увеличение скорости дегидратации пород должно сопровождаться уменьшением величины деформации усадки. Это соответственно обусловливало бы меньшее снижение пористости аллювиальных пород в процессе ускоренной сушки и способствовало бы возрастанию величины коэффициента относительной просадочности. Такое возрастание этого показателя, судя по пылеватому составу, высокой агрегированности глинистых частиц и особенностям строения (скелетное, высокопористое) пород, использовавшихся в процессе лабораторного моделирования, должно быть очень небольшим по величине.

Первые полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что это действительно так. У обр. 5, 6 и 7 (рис. 4, б—г), высушенных путем прогонки потока воздуха вентилятором, величина коэффициента относительной просадочности оказалась несколько выше, чем при сушке на воздухе. Однако для обр. 2 (рис. 4, а) получено обратное соотношение.

Весьма интересные данные получены для обр. 5—7, которые разместились на разном расстоянии от вентилятора. На рис. 5, б хорошо вид-

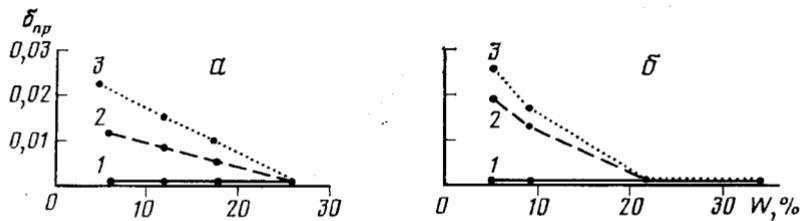


Рис. 2. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсущенных аллювиальных суглинков от влажности и действующего при замачивании давления: *а* — обр. 1; *б* — обр. 4; кривые 1—3 соответствуют различным давлениям, действовавшим при замачивании образцов (*1* — 0,03 МПа; *2* — 0,1 МПа; *3* — 0,3 МПа)

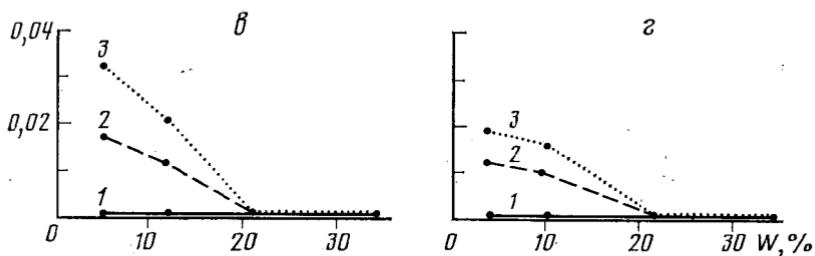
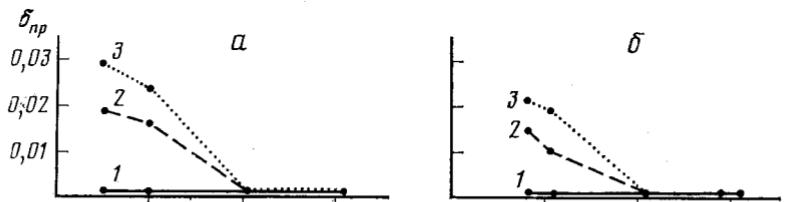


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсущенных при разных условиях пригрузки аллювиальных суглинков от влажности и действующего при замачивании давления: *а* и *в* — обр. 2 и 8 соответственно подсушивались без какой-либо внешней пригрузки; *б* и *г* — образцы-близнецы 3 и 6 соответственно подсушивались при нагрузке 0,01 МПа (1, 2 и 3 — см. рис. 2)

по этому вопросу могут быть получены путем сравнения данных, приведенных в табл. 3 и 5.

Исходя из существующих теоретических представлений и экспериментальных данных для паст и глинистых грунтов, увеличение скорости дегидратации пород должно сопровождаться уменьшением величины деформации усадки. Это соответственно обусловливало бы меньшее снижение пористости аллювиальных пород в процессе ускоренной сушки и способствовало бы возрастанию величины коэффициента относительной просадочности. Такое возрастание этого показателя, судя по пылеватому составу, высокой агрегированности глинистых частиц и особенностям строения (скелетное, высокопористое) пород, использовавшихся в процессе лабораторного моделирования, должно быть очень небольшим по величине.

Первые полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что это действительно так. У обр. 5, 6 и 7 (рис. 4, *б*—*г*), высущенных путем прогонки потока воздуха вентилятором, величина коэффициента относительной просадочности оказалась несколько выше, чем при сушке на воздухе. Однако для обр. 2 (рис. 4, *а*) получено обратное соотношение.

Весьма интересные данные получены для обр. 5—7, которые размещались на разном расстоянии от вентилятора. На рис. 5, *б* хорошо вид-

Таблица 5

Результаты определения просадочности аллювиальных пород, исходных и подсущенных на воздухе с обдувом вентилятором без дополнительной нагрузки

Номер образца	Влажность, %	Степень влажности	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент относительной просадочности при нагрузке (в МПа)		
			грунта	скелета грунта			0,03	0,1	0,3
2	31	0,84	1,72	1,32	49	0,96	0	0	0
	20	0,58	1,63	1,35	48	0,93	0	0	0
	10	0,33	1,58	1,43	45	0,82	0	0,010	0,013
	5	0,18	1,56	1,48	43	0,76	0	0,014	0,027
5	35	0,84	1,71	1,27	52	1,07	0	0	0
	20	0,55	1,65	1,38	47	0,90	0	0	0
	13	0,41	1,59	1,40	46	0,88	0	0,012	0,018
	5	0,18	1,55	1,47	44	0,80	0,005	0,019	0,039
6	35	0,88	1,74	1,29	51	1,03	0	0	0
	23	0,61	1,63	1,33	49	0,98	0	0	0
	11	0,36	1,60	1,44	45	0,84	0	0,010	0,021
	6	0,20	1,55	1,46	44	0,80	0,002	0,020	0,032
7	32	0,87	1,77	1,34	49	0,99	0	0	0
	24	0,69	1,71	1,38	48	0,93	0	0	0
	12	0,39	1,58	1,41	46	0,89	0	0,014	0,018
	6	0,20	1,55	1,46	44	0,83	0,002	0,018	0,029

Примечание. обр. 5, 6 и 7 находились во время обдува вентилятором на расстоянии 0,5, 0,75 и 1,00 м соответственно.

но, что при нагрузке 0,3 МПа величина коэффициента относительной просадочности подсущенных образцов прогрессивно падает с увеличением удаления обдуваемого потоком воздуха образца-монолита от вентилятора (для сравнения на этом рисунке также приведена кривая изменения коэффициента относительной просадочности от влажности обр. 7, высущенного на воздухе без какого-либо дополнительного обдува). При нагрузке 0,1 МПа эта тенденция сохраняется, но она выражена гораздо менее рельефно (см. рис. 5, а).

Таким образом, установлено, что скорость удаления воды из пойменных пылеватых суглинков оказывает влияние на формирование их эпигенетической просадочности, которая проявляется при дополнительных нагрузках. Физическое моделирование в этом направлении должно быть продолжено.

Результаты моделирования формирования просадочности аллювиальных отложений при действии различных нагрузок и неодинаковой скорости их подсушивания. Данные о просадочности ряда образцов аллювиальных пород, подсущенных на воздухе с обдувом вентилятором при постоянном воздействии внешней нагрузки, приведены в табл. 6. Их сравнение с материалами табл. 3—5 позволяет сделать первые выводы о совместном влиянии скорости подсушивания и действия пригрузки на формирование просадочности рассматриваемых пород.

Экспериментальные данные показывают, что подсушивание под влиянием тока воздуха от вентилятора образцов-монолитов, на которые в течение всего процесса дегидратации действует дополнительная нагрузка (0,01—0,02 МПа), приводит к формированию большей величины коэффициента относительной просадочности. При нагрузке 0,3 МПа это проявилось, особенно при влажности менее 10% у всех испытанных образцов (рис. 6). При нагрузке 0,1 МПа у обр. 5 и 6 наблюдалась аналогичная картина, а у обр. 3 — обратная (см. рис. 6, а).

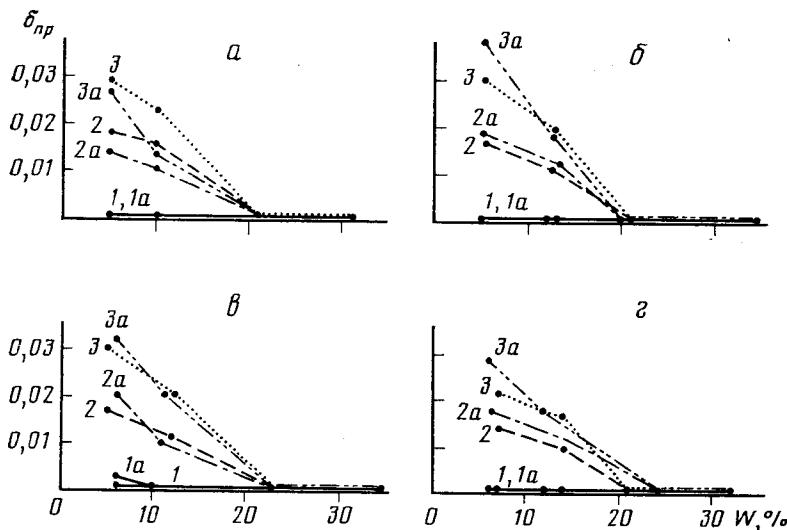


Рис. 4. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсущенных на воздухе (1—3 на каждом графике) и под влиянием тока воздуха от вентилятора (1a, 2a, 3a) без какой-либо внешней пригрузки аллювиальных суглинков от влажности и действующего при замачивании давления: а — обр. 2; б — образцы-близнецы 5 (сушка с вентилятором) и 8 (сушка на воздухе); в — образцы-близнецы 6 (сушка с вентилятором) и 8 (сушка на воздухе); г — обр. 7 (1, 2 и 3 — см. рис. 2)

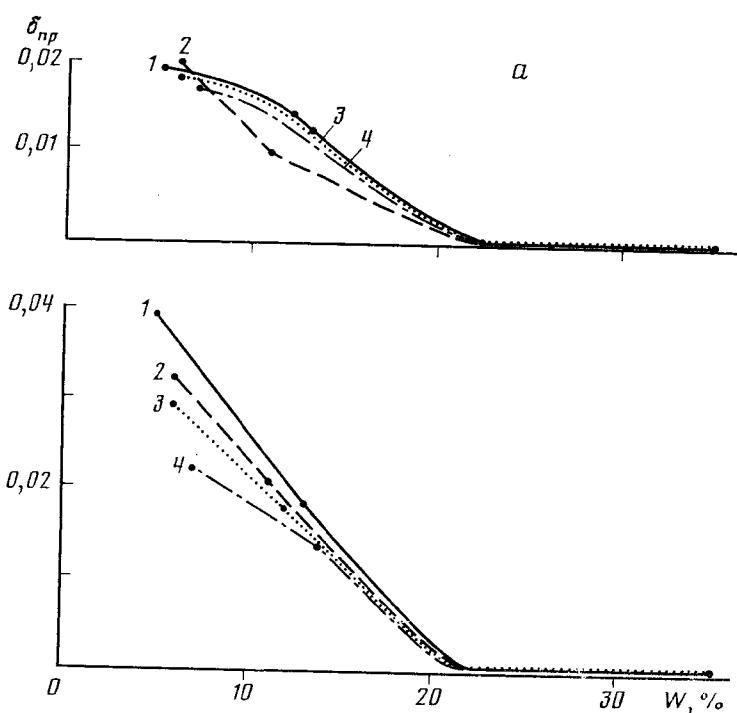


Рис. 5. Зависимость коэффициента относительной просадочности подсущенных с разной скоростью без внешней пригрузки аллювиальных суглинков от влажности при замачивании под давлением 0,1 (а) и 0,3 (б) МПа: 1 — обр. 5 (расположен на расстоянии 0,5 м от вентилятора); 2 — обр. 6 (то же, 0,75 м); 3 — обр. 7 (то же, 1 м); 4 — обр. 7 (подсущен на воздухе без воздействия вентилятора)

Таблица 6

Результаты определения просадочности аллювиальных пород, исходных и подсущенных на воздухе с обдувом вентилятором под дополнительной нагрузкой

Номер образца	Влажность, %	Степень влажности	Плотность, г/см ³		Пористость, %	Коэффициент пористости	Коэффициент относительной просадочности при нагрузке (в МПа)		
			грунта	скелета грунта			0,03	0,1	0,3
3	29	0,81	1,75	1,36	48	0,92	0	0	0
	20	0,57	1,65	1,38	47	0,89	0	0	0
	11	0,35	1,60	1,44	45	0,82	0	0	0,017
	7	0,25	1,57	1,46	44	0,79	0	0,011	0,024
5	35	0,84	1,71	1,27	52	1,07	0	0	0
	21	0,64	1,69	1,39	47	0,89	0	0	0
	12	0,40	1,61	1,43	45	0,84	0	0,003	0,016
	7	0,25	1,58	1,47	44	0,79	0	0,014	0,027
6	35	0,88	1,74	1,29	51	1,03	0	0	0
	20	0,57	1,67	1,39	49	0,92	0	0	0
	15	0,43	1,60	1,39	49	0,93	0	0,007	0,014
	8	0,26	1,54	1,42	46	0,85	0	0,018	0,023

Примечание. 1) обр. 3 и 6 подсушивались под действием дополнительной нагрузки 0,01 МПа, 5—0,02 МПа; 2) обр. 5 располагался на расстоянии 0,5 м от вентилятора, обр. 6 — 0,75 м.

Весьма интересно положение кривых зависимости величины коэффициента относительной просадочности от влажности для всех четырех серий опытов, совмещенных на одном графике. В целом наиболее высокое положение занимают кривые, отвечающие ускоренной сушке образцов под вентилятором без какой-либо дополнительной нагрузки, а наиболее низкое — сушке тех же образцов на воздухе при воздействии дополнительной нагрузки (рис. 7).

Общие выводы и задачи дальнейших экспериментальных исследований. Новые экспериментальные данные свидетельствуют о возможности формирования просадочности у аллювиальных пород как эпигенетического их свойства. Путем физического лабораторного моделирования, выполненного по различным схемам, убедительно показано, что это свойство формируется при дегидратации высоковлажных, высокопористых аллювиальных пылеватых суглинистых пород¹ пойменной фации в процессе прогрессивного литогенеза. Это свойство формировалось в элементарном слое и в случае, когда на подсыхавшую породу действовало очень маленькое давление — только вес пород этой части монолита, и в случае воздействия на нее дополнительных нагрузок.

Просадочные свойства подсущенные образцы-модели проявляли только при нагрузках 0,1 и 0,3 МПа, которые существенно выше действовавших на аллювиальные породы в процессе подсыхания. В этом плане новые данные целиком согласуются с ранее полученными результатами [7—9].

Выполненные эксперименты показали существенное влияние скорости дегидратации аллювиальных пород на величину приобретаемых ими просадочных свойств. Увеличение скорости удаления воды из высокопористых молодых пород обусловливало приобретение ими, как правило, больших значений коэффициента относительной просадочности. Возможно именно этим объясняется более высокая просадочность, проявляющаяся обычно при дополнительных нагрузках, у аллювиальных отложений надпойменных террас аридных районов по сравнению с аналогичными образованиями, развитыми в более северных широтах.

¹ Именно пород, а не осадков.

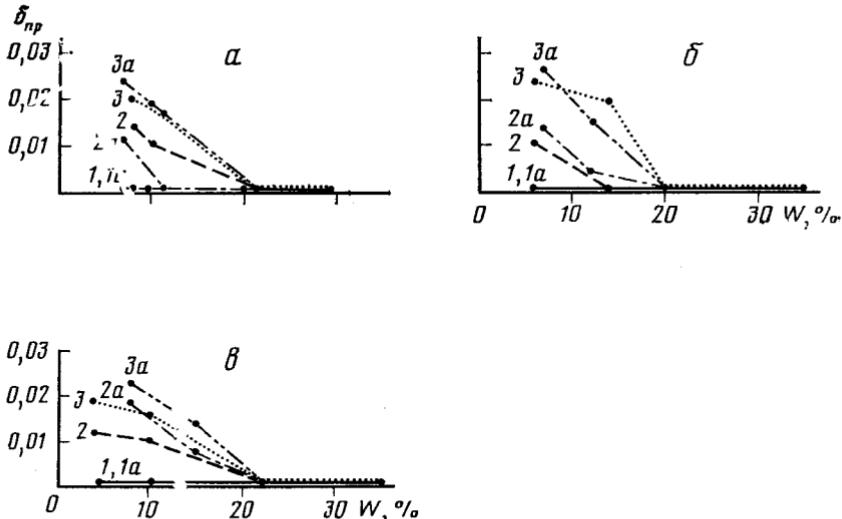


Рис. 6. Зависимость коэффициента относительной просадочности суглинков, подсушенных на воздухе (1–3 на каждом графике) и под влиянием тока воздуха от вентилятора (1a, 2a, 3a) при разных условиях пригрузки, от влажности и действующего при замачивании давления: а — обр. 3; б — обр. 5; в — обр. 6 (обр. 3 и 6 подсушивались под нагрузкой 0,01 МПа, обр. 5 — 0,02 МПа); 1, 2 и 3 — см. рис. 2

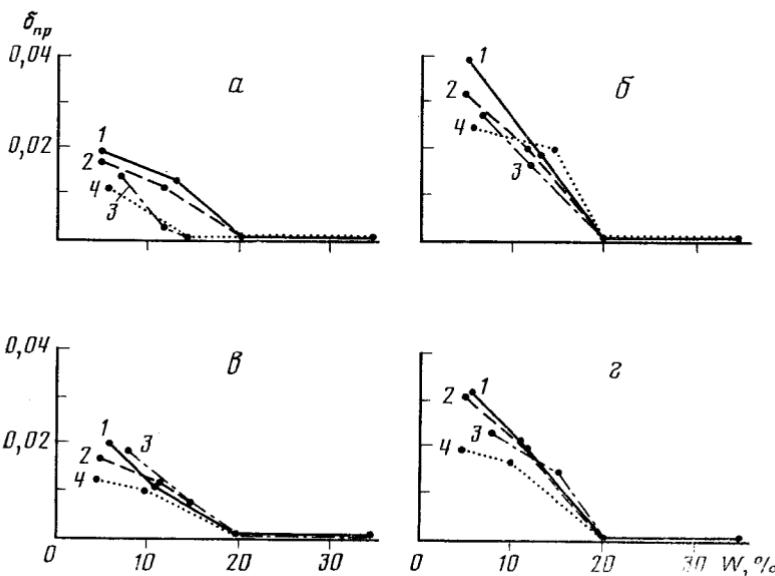


Рис. 7. Зависимость коэффициента относительной просадочности аллювиальных суглинков, подсущенных с разной скоростью и при неодинаковых условиях пригрузки, от влажности при замачивании под давлением 0,1 (а, в) и 0,3 (б, г) МПа: 1 — подсушивание током воздуха от вентилятора без пригрузки; 2 — подсушивание на воздухе без пригрузки; 3 — подсушивание током воздуха от вентилятора с пригрузкой 0,02 (обр. 5) и 0,01 (обр. 6) МПа; 4 — подсушивание на воздухе с теми же пригрузками; а и б — данные для обр. 5 и образца-близнеца 8 (кривая 2); в и г — данные для обр. 6 и образца-близнеца 8 (кривая 2)

В свете полученных данных в качестве первоочередных задач дальнейших экспериментальных работ по моделированию формирования эпигенетической просадочности аллювиальных пород выступают следующие: а) дальнейшие лабораторные работы с целью детального изучения особенностей формирования эпигенетической просадочности у аллювиальных пород разного гранулометрического и химико-минерального состава при разных условиях изменения термовлажностного режима и

различных нагрузках, действующих на подсыхающий образец-монолит; б) проведение целенаправленных исследований по изучению этих вопросов в ходе полевых крупномасштабных работ непосредственно в массиве аллювиальных пород; в) развертывание экспериментальных работ с целью изучения скорости формирования просадочности в аллювиальных породах в разных климатических обстановках.

Развертывание работ, названных в пункте б), совершенно необходимо. Дело в том, что в лабораторных условиях при работе с крупными образцами-монолитами очень сложно, а часто просто невозможно создавать большие дополнительные нагрузки (0,04—0,05 МПа и выше), которые действуют на грунт при его дегидратации (необходимо на монолите разместить очень большой груз). Выход из этого положения — перенос исследований в массив аллювиальных пород.

С целью ускорения дегидратации аллювиальных пород может быть использована такая методика. Отрываются два параллельных широких шурфа до необходимой (или возможной) глубины в толще пойменного аллювия, между которыми оставляется целик природного грунта. Каждый его слой подсыхает под весом вышележащих пород и, следовательно, отпадает необходимость дополнительной пригрузки пород в целике. Изменяя ширину последнего (например, от 20 см до 0,5—1 м), можно получить данные о влиянии разной скорости подсыхания пород на величину формирующейся просадочности. Скорость дегидратации толщи можно увеличить, используя для продува воздуха в шурфе вентиляторы.

Длинная сторона шурфов должна быть ориентирована с востока на запад для лучшего прогрева пород в целиках солнцем. Для исключения капиллярного подсоса воды снизу в основании целиков можно создавать непроницаемый слой из листового железа или дюралюминия.

Исследования в массиве по этой методике могут проводиться как в пределах поймы, так и надпойменных террас в районах с разными климатическими условиями. Полученные в процессе их выполнения данные позволят установить общие и региональные закономерности формирования эпигенетической просадочности у аллювиальных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галай Б. Ф. Методика и результаты моделирования просадочности эоловых лёссовых грунтов//Свойства грунтов и инженерно-геологические процессы. М.: Наука, 1987. С. 102—109.
2. Коломийцев Н. В. Условия формирования просадочности аптельских лёссовых пород Нижнего Поволжья//Инж. геология. 1985. № 2. С. 26—34.
3. Комиссарова Н. Н., Коломийцев Н. В. Формирование просадочности лёссовых пород водного генезиса//Инж. геология. 1987. № 3. С. 36—42.
4. Коробкин В. И., Балаев Л. Г., Галай Б. Ф. Субазральный литогенез и свойства пылевато-глинистых отложений (применительно к ирригационному строительству). Изд-во Ростов. ун-та, 1985. 208 с.
5. Королев В. А., Еремина О. Н. К вопросу о формировании аутогезионного скелета в лёссовых грунтах в связи с их просадочностью//Инж. геология. 1986. № 2. С. 50.
6. Трофимов В. Т., Бондаренко В. С. О результатах моделирования формирования просадочности грунтов в процессе прогрессивного литогенеза//Инж. геология. 1983. № 6.
7. Трофимов В. Т., Бондаренко В. С., Яковлев М. И., Горский М. Р. Результаты моделирования формирования просадочности у аллювиальных пылеватых грунтов//Инж. геология. 1986. № 4. С. 21—29.
8. Трофимов В. Т., Бондаренко В. С., Яковлев М. И., Горский М. Р. Новые данные к решению проблемы генезиса просадочности аллювиальных лёссовых пород//Докл. АН СССР. 1986. Т. 290. № 3. С. 696—699.
9. Трофимов В. Т., Бондаренко В. С., Горский М. Р., Яковлев М. И. Новые экспериментальные данные к решению проблемы генезиса просадочности аллювиальных лёссовых пород//Инженерно-геологические особенности цикличности лёссов. М.: Наука, 1987. С. 68—73.

УДК 624.131

КУШНИР С. Я.

КОНСОЛИДАЦИЯ НЕОДНОРОДНЫХ НАМЫВНЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ГЛУБИННОМ ВИБРОУПЛОТНЕНИИ

Инженерная подготовка территорий к строительству в Западной Сибири включает формирование намывных площадей. Намывные техногенные группы, представленные мелкими или пылеватыми песками, залегают на естественных заторфованных грунтах, что обуславливает длительные сроки консолидации, измеряемые годами. Один из наиболее эффективных способов сокращения этих сроков состоит в применении глубинной вибрации для уплотнения намывных оснований. Однако до настоящего времени вопрос о влиянии глубинной вибрации на процесс консолидации практически не изучен.

Лабораторными и натурными исследованиями установлено, что при глубинном виброуплотнении значительно (в 3—4 раза) возрастает скорость фильтрации за счет увеличения в процессе вибрации градиентов напора. Распределение этих градиентов по глубине обусловлено напряженным состоянием слоев грунта в основании и различными длинами путей фильтрации. При этом интенсивность напоров по глубине уплотняемой зоны заметно увеличивается.

В процессе работы виброустановки за счет дополнительного динамического давления в массиве грунта начинается радиальная фильтрация воды. При этом положительное динамическое воздействие обусловлено работой виброуплотнителя, а отрицательное — возникает за счет обратной фильтрации воды в зону вибрации. Так как время вибрационного воздействия и восстановления довибрационного состояния грунта отличаются на порядок, то можно считать, что при глубинной вибрации в уплотняемой зоне действует постоянное динамическое давление, определяемое уравнением

$$P_{\text{дин}} = KA_0\omega^2\rho z,$$

где: $K = A/A_0$; A — амплитуда колебаний грунта, м; A_0 — амплитуда колебаний виброуплотнителя, м; ω — частота колебаний, с^{-1} ; ρ — плотность грунта, $\text{кг}/\text{м}^3$; $0 \leq z = (H - x) \leq H$ — высота столба виброуплотняемого грунта, м.

Для выявления роли динамической составляющей общих давлений на процесс консолидации неоднородных намывных оснований в качестве исходных данных приняты результаты глубинного уплотнения намывного основания, подстилаемого торфом ненарушенной структуры. Эксперимент проводился в лотке. Перемещения слоев торфа и намывного песка на различных расстояниях от точки виброровывания фиксировались поверхностными и глубинными марками; также регистрировалось время протекания осадок (рис. 1).

В соответствии с теорией фильтрационной консолидации полное давление

$$P_n = P_z + P_w,$$

где: P_z — давление, воспринимаемое твердыми частицами грунта; P_w — давление, возникающее в воде.

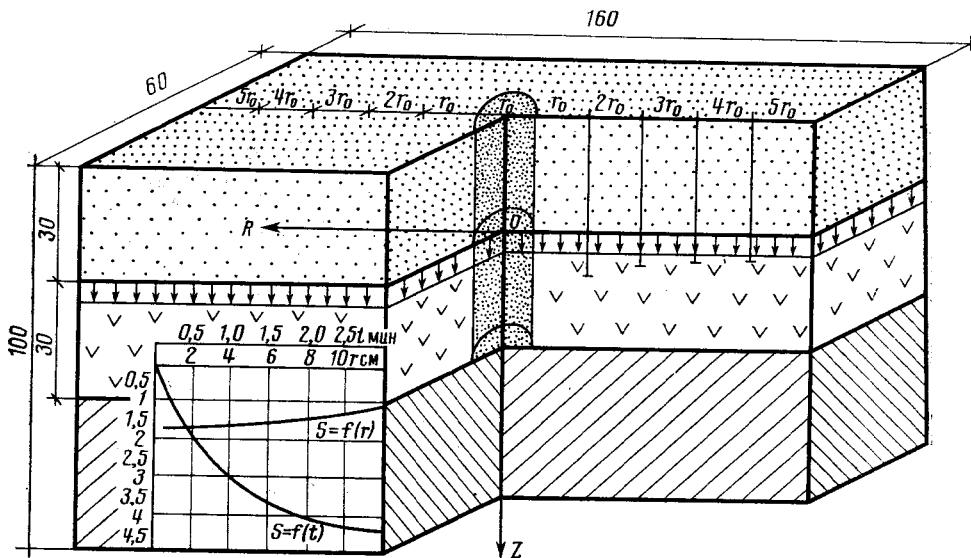


Рис. 1. Размещение глубинных марок в лотке и расчетная схема к решению задачи

С учетом динамической составляющей, обусловленной работой глубинной виброустановки, полное давление может быть представлено в виде

$$P_{\text{полн}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}} e^{-\alpha r^2} \quad \text{или} \quad P_{\text{полн}} = P_{\text{ст}} + K A_0 \omega^2 \rho g e^{-\alpha r^2},$$

где $P_{\text{дин}}$ — динамическая составляющая давления, Па; $e^{-\alpha r^2}$ — множитель, учитывающий уменьшение динамической составляющей при удалении от зоны вибровибрации; r — радиус зоны вибрации.

При решении задачи использовано дифференциальное уравнение осесимметричной задачи уплотнения, полученное Рендуликом [1]:

$$\frac{\partial P_\omega}{\partial t} = C_r \left(\frac{\partial^2 P_\omega}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P_\omega}{\partial r} \right) + C_z \frac{\partial^2 P_\omega}{\partial z^2},$$

где: r — расстояние до оси z ; C_r и C_z — коэффициенты соответственно горизонтальной и вертикальной консолидации. Принято $C_r = C_z$.

Границные условия в данной постановке записываются в виде:

$$1. P_\omega(r; z; t)_{z=0} = 0.$$

$$2. \frac{\partial P_\omega}{\partial z}(r; z; t)_{z=H} = 0,$$

так как фильтрационный поток, определяемый градиентом давления, равен нулю.

$$3. P_\omega(r; z; t)_{r=r_0} = 0.$$

$$4. \frac{\partial P_\omega}{\partial r}(r; z; t)_{r=R} = 0.$$

Начальное условие:

$$P_\omega(r; z; t)_{t=0} = P_{\text{ст}} + \Delta P \frac{r}{H} e^{-\alpha r^2}.$$

Решение задачи выполнено по методу продольно-поперечной прогонки на ЭВМ ЕС-1061. Исходными данными для расчетов приняты: начальное значение коэффициента пористости $e_0 = 19,0$; коэффициент консолидации $C_c = 5 \text{ м}^2/\text{год}$; толщина слоя торфа $h_t = 0,3 \text{ м}$; толщина слоя:

намывного песка $h_n=0,3$ м, статическое давление, передаваемое на торф от массы намывного песка — $P_{ct}=0,078$ кг/см², радиус зоны виброуплотнения $r_0=4$ см. Значение радиуса влияния принято по результатам лабораторных и полевых исследований, $R=6r$.

Степень консолидации, характеризующая процесс, определилась при фиксированных значениях r по выражению

$$U = \frac{S_t}{S_\infty} = \frac{\int_0^z P_z(r; z; t) dz}{\int_0^t \left[P_{ct} + \Delta P \frac{z}{H} e^{-\alpha r^2} \right] dz} = \frac{\int_0^z P_z(r; z; t) dz}{\left(P_{ct}z + \Delta P \frac{1}{2} \frac{r^2}{H} e^{-\alpha r^2} \right) \Big|_0^H} = \\ = \frac{\int_0^z P_z(r; z; t) dz}{\left(P_{ct} + \Delta P \frac{1}{2} e^{-\alpha r^2} \right) H}.$$

Конечная осадка слоя торфа определялась из выражения

$$S_\infty = h \frac{aP}{1+e}$$

где a — коэффициент сжимаемости грунта, МПа⁻¹; e — коэффициент пористости; S_∞ — конечная осадка слоя грунта, м; a — осадка в заданный момент времени $S_t=S_\infty U$, где S_∞ — конечная осадка слоя грунта, м.

Для удобства обработки и анализа расчетные значения степени консолидации и времени при значениях $\Delta P=P_{ct}$ и $\Delta P=10 P_{ct}$ при фиксированных осадках приведены соответственно в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Интенсивность уплотнения грунта при различном расстоянии от зоны вибрирования ($\Delta P=P_{ct}$)

Время вибрации, мин	$R=2r, e^{-\alpha r^2}=0,6$			$R=3r, e^{-\alpha r^2}=0,32$			$R=4r, e^{-\alpha r^2}=0,13$		
	U	U'	t'	U	U'	t'	U	U'	t'
15	0,05	0,06	28	0,031	0,04	20	0,035	0,035	15
157	0,44	0,58	157	0,21	0,24	442	0,14	0,14	157
1542	0,83	1,0	1542	0,72	0,84	5 306			
16 226						16 226			

Примечание. U — степень консолидации основания при динамическом воздействии; U' — степень консолидации основания без динамического воздействия; t' — время консолидации основания без динамического воздействия.

Таблица 2

Интенсивность уплотнения грунта при различном расстоянии от зоны вибрирования ($\Delta P=10 P_{ct}$)

Время вибрации, мин	$R=2r$			$R=3r$			$R=4r$			$R=5r; e^{-\alpha r^2}=0,04$		
	U	U'	t'	U	U'	t'	U	U'	t'	U	U'	t'
15	0,33	0,13	140	0,017	0,604	19						
157	0,44	1,0		0,2	0,52	1881	0,11	0,18	250	0,09	0,11	157
1542							0,7	1,0		0,63	0,75	7500
16 226												

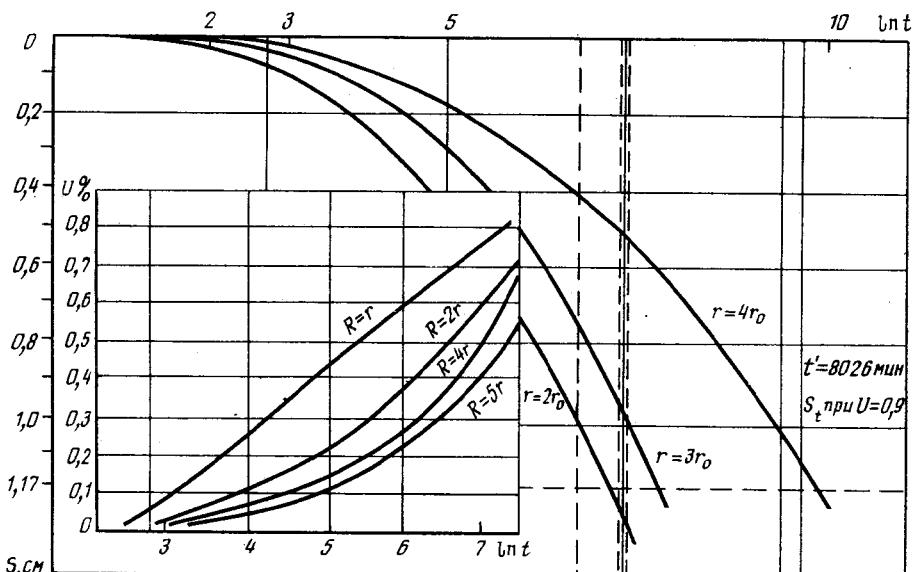


Рис. 2. Графики изменения степени консолидации и осадки намывного основания во времени при $\Delta P = P_{ct}$

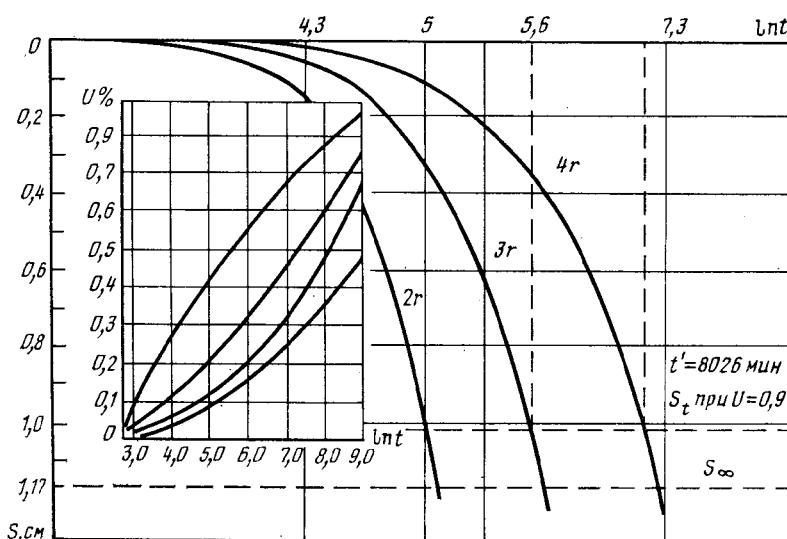


Рис. 3. Графики изменения степени консолидации и осадки намывного основания при $\Delta P = 10 P_{ct}$

Анализ табличных данных свидетельствует, что на одинаковом расстоянии от зоны виброрования консолидация основания идет значительно интенсивней, чем невибрируемого основания. При этом с увеличением значения динамической составляющей зона активного виброрования увеличивается (практически до $R=5r$).

На рис. 2 и 3 приведены зависимости степени консолидации и осадок неоднородных намывных оснований во времени соответственно для значений $\Delta P = P_{ct}$ и $\Delta P = 10 P_{ct}$. Так как величины фиксированных времен отличаются на порядок, зависимости построены в логарифмической системе координат. На графиках нанесены величины конечных осадок невибрированного основания при 90% степени консолидации.

Из анализа графиков следует, что динамическая составляющая давления существенно влияет на время протекания осадок. Так, при $\Delta P = P_{ct}$ на расстоянии r от зоны вибрирования 90%-ная консолидация наступает в 10 раз быстрее, чем в отсутствие вибрации, а на расстоянии $2r$ — в 4 раза. При $\Delta P = 10 P_{ct}$ интенсивность осадок возрастает: на расстоянии r от зоны вибрирования 90% осадка достигается быстрее в 100 раз, на расстоянии $2r$ — в 30 раз, а на расстоянии $3r$ — в 7 раз. При этом увеличение динамической составляющей вызывает увеличение зоны активного воздействия на уплотняемый грунт. Следует отметить, что характер и величины степени консолидации остаются практически неизменными. Эффект вибрирования сильнее выражен при небольших значениях статического давления.

Сопоставляя результаты лабораторных исследований с данными натурных наблюдений за осадками, методом наименьших квадратов на основе модельных экспериментов была получена зависимость относительной осадки от относительного расстояния r' :

$$S' = \frac{1}{6,2(r')^2 + 0,7},$$

где $r' = r/R$ — относительное расстояние от оси зоны вибрирования до точки, для которой рассчитывается осадка; R — радиус действия на грунт процесса вибрации ($R = 6r$); $S' = S/S_{max}$; S_{max} — величина осадки на границе зоны вибрирования.

Выполнено сравнение осадок, полученных по выражению, с осадками, замеренными в натуральных условиях. Так, на границе зоны вибрирования осадка трехметрового слоя торфа, пригруженного намывным песком толщиной 3 м, составила 27 см. На расстоянии:

$$S_{120\text{ см}} = 12,0 \text{ см} \text{ (по данным наблюдений — 11 см)},$$

$$S_{160\text{ см}} = 8 \text{ см} \text{ (по данным наблюдений — 6,5 см)}$$

Это позволяет сделать вывод о правомочности предложенного подхода к оценке влияния глубинной вибрации на процесс консолидации неоднородных намывных оснований. Кроме того, результаты выполненного исследования позволяют определить эффективную область влияния динамического воздействия и дать рекомендации по технологии уплотнения намывных оснований, а именно: 1) более эффективен процесс уплотнения при небольших (до $0,5 \text{ кг}/\text{см}^2$) значениях статической нагрузки, т. е. при гидронамыве грунта до $0,7\text{—}0,9 \text{ м}$; 2) расстояние между точками вибрирования не должно превышать 3—4 диаметров виброплотнителя; 3) время вибрирования не должно превышать 10—15 мин.

ЛИТЕРАТУРА

- Цытович Н. А. Механика грунтов. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. 544 с.

Тюменский инженерно-строительный
институт

Поступила в редакцию
18.VI.1987

УДК 624.131

ПИОТРОВСКАЯ Т. Ю.

**О СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОСТОЯНИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

При инженерно-геологической оценке пространственной изменчивости природных процессов, необходимой для изучения состояния геологической среды, главная цель анализа заключается в определении активности процессов. Большинство современных геологических процессов имеет прерывистое или узколинейное распространение. Их развитие — это процесс разрушения денудационного рельефа. Поэтому сопроцессорование прерывисто развитых процессов зависит от специфики форм рельефа и их геологического строения. Прерывистость и сопроцессорование генетически различных процессов определяют формирование парагенетических комплексов, которые и являются основным объектом изучения закономерностей пространственной изменчивости процессов.

Прерывистость и парагенетичность (сопроцессорование) развития современных геологических процессов ставят вопрос о необходимости системы оценки активности процессов, использовании категорий оценки, показывающих активность их развития как в совокупности, так и раздельно. Такими категориями оценки активности развития процессов, по мнению автора, являются «интенсивность» и «экстенсивность» их проявления.

Термины «активность» и «интенсивность» развития процессов давно используются в литературе, но толкование их вызывает замечания. В инженерной геологии эти понятия введены Е. П. Емельяновой [3], их всецело разделяет А. И. Шеко [5]. По определению Е. П. Емельяновой, интенсивность — это количество форм данного процесса, отнесенное к единице площади или длины. Из этого определения следует, что под интенсивностью понимается пораженность территории процессом. Но качественное распространение какого-либо явления по площади определяется понятием «экстенсивность». Поэтому, сохраняя суть определения пораженности, понятие «интенсивность», используемое Е. П. Емельяновой и А. И. Шеко, как не соответствующее этимологии термина, следует заменить понятием «экстенсивность».

Под интенсивностью проявления любого природного процесса понимается его энергетический потенциал, определяемый физическими показателями (скоростью проявления, объемами смещения земляных и водных масс).

Активность, по определению Е. П. Емельяновой, — это количество «свежих» форм проявления процесса, отнесенное к общему количеству форм этого процесса. Но в естественных науках возникновение новых форм и явлений (солнечных пятен, сейсмических толчков и др.) на фоне существующих принято называть активизацией процесса. Поэтому определение активности процессов в понимании Е. П. Емельяновой и А. И. Шеко снижает масштаб этого понятия, так как, по сути, отражает только временную активизацию процесса, а не специфику его проявления. Под активностью проявления процессов автор предлагает понимать

Таблица 1

Экстенсивность проявления процессов

Характер распространения явлений по площади	Пораженность территории процессами, %	Степень экстенсивности
Сплошной	100	Максимальная — 1
Прерывистый	100—50	Высокая — 2
Пятнистый, спорадический	50—10	Умеренная — 3
Линейный, единичный	10—5	Слабый — 4
Единичный	>5	Очень слабый — 5

устойчивое преобладающее развитие на той или иной территории одного или нескольких процессов, оцениваемых по интенсивности или экстенсивности их развития в зависимости от природы процесса. При парагенетическом развитии процессов в сонахождении могут находиться как процессы разного, так и одного генезиса, но разного возраста, стадии.

Рассмотрим показатели, определяющие экстенсивность и интенсивность развития процессов.

Экстенсивность определяется процентом пораженности территории процессом. Разные генетические типы процессов имеют специфический характер распространения. Выветривание на поверхности, вулканические излияния, заболачивание могут иметь на определенной территории сплошное распространение. Карст, плоскостной смыв, перевевание могут иметь и сплошное, и прерывистое распространение. Эрозия, абразия всегда имеют линейное развитие. Гравитационные, нивальные процессы, сейсмодислокации, пыльные бури характеризуются пятнистым, спорадическим или единичным распространением.

Процент пораженности территории при том или ином характере распространения определяет относительную шкалу степени экстенсивности (табл. 1).

Интенсивность проявления процессов — их энергетический потенциал — определяется понятием мощности, которая выражается физическими показателями скорости проявления процесса и объемов возможных смещений земляных или водных масс. Д. Л. Арманд [1] следующим образом определял интенсивность физико-географического процесса, которая относится и к любому современному геологическому процессу: «интенсивность частного процесса — это скорость, с которой в ходе его преобразуется или перемещается материя, слагающая соответствующий элемент физико-географической среды» [1, с. 205]¹. Им отмечалось, что интенсивность физико-географических процессов ограничена: запасом потенциальной энергии участвующих в процессах масс; количеством и годовым ходом поступления тепловой энергии. По мнению Д. Л. Арманда, «лишь в такой формулировке закон интенсивности получает значение, адекватное действительности при строгом (обязательном для всех наук) соблюдении непреложных истин физики и математики. Именно энергия, единая во всех видах, — указывает Д. Л. Арманд — является той обобщающей величиной, той универсальной мерой, которую мы ищем» [1, с. 208, 209]. По его мнению, в настоящее время имеются лишь технические, но не принципиальные трудности к подсчету энергии, поглощаемой (или освобожденной) при любых природных процессах.

Каждый процесс по своей природе обладает определенным диапазоном скорости проявления и возможным объемом смещений земляных или водных масс (табл. 2). Как видно в табл. 2, существует прямая связь между порядками величин скоростей и объемов смещений — чем

¹ Статья написана Д. Л. Армандом в 1948 г., опубликована в 1983 г.

Таблица 2

Интенсивность проявления современных геологических процессов

Процессы				Характер проявления процессов во времени					Показатели интенсивности проявления			
Классы	Группы	Типы	Виды	внезапный	сезонный	циклический, обусловленный	пульсациями современных тектонических движений	приливами и отливами	солнечной радиацией	постоянно проявляющейся	Скорости проявления процессов по шкале	Объемы смещения земляных, водных (снежных) масс по шкале
Эндогенные, проявляющиеся на поверхности	вулканические	выбросы	+		+					I	1—5	
			течения	+	+					II	1—5	
	сейсмо-геологические	сейсмодислокации	+		+					I—Ia	1—5	
			+		+					I	1—5	
	гравитационные	смещение пород и сход лавин	падение	+						I	1—6	
Экзогенные	то же	смещение пород	соскальзывание	+		+	+	+		I—II	1—6	
			сплыивание		+		+	+		II—IIIa, б; IV	2—6	
			солифлюкция		+			+		IIIa, б; IV	5—6	
			крип		+			+		IV	5—6	
	размывание	смыт на склонах	курумы		+			+		III—IV	5—6	
			плоскостной		+			+		III	4—6	
			по ложбинам		+			+		IIIa, б	4—6	
	то же	размыв по руслу	боковая эрозия		+	+				II—IV	3—6	
			глубинная эрозия		+	+	+			III—IV	3—6	
	»	абразия	вдольбереговая			+	+	+	+	II—III	3—6	
			цунами	+		+				I—II	1—3	
		растворение	карст		+	+			+	III—IV	4—6	
		суффозия		+					III—IVa	5—6		

Таблица 2 (продолжение)

Процессы				Характер проявления процессов во времени					Показатели интенсивности проявления		
Классы	Группы	Типы	Виды	внезапный	сезонный	циклический, обусловленный			Скорости проявления процессов по шкале:	Объемы смещения земляных (снежных) масс по шкале	
						пульсациями современных тектонических движений	приливами и отливами	солнечной радиацией			
Эзогенные	эоловые	перевешивание		+				+	II—IIIa	4—6	
			пыльные бури	+	+				I—II	1—4	
	криогенные и посткриогенные			+				+	III—IV	4—6	
	заболачивание				+	+		+	IIIб, в—IV	4—6	
	нивальные				+			+	IIIв—IV	5—6	
	разуплотнение и выветривание			+				+	IIIб—IV	4—6	

Примечание. Скорости проявления процессов по шкале: I — катастрофические, м/с; II — высокие: а — м/ч, б — км/ч; III — средние: а — м/сут, б — м/на 10 сут — м/месяц, в — м/год; IV — малые: а — м/на 10 лет, б — м/век. Объемы смещений по шкале:

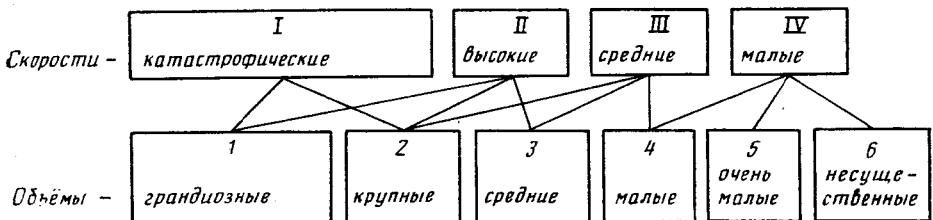
- 1 — грандиозные — п. млн. м³;
- 2 — крупные — 1 млн — п. 100 тыс. м³;
- 3 — средние — 100 тыс. — п. 10 тыс. м³;
- 4 — малые — 10 тыс. — п. сотни м³;
- 5 — очень малые — п. дес. — п. м³;
- 6 — несущественные — п. м³ — п. мм³.

больше скорость, тем большие объемы вовлекаются в смещение. Приведенные порядки величины скорости и объемов смещений характерны для циклов наибольшей активности процессов, которая зависит от характера проявления их во времени. Интенсивность процессов можно определять по четырем группам объемов смещений в зависимости от конкретных данных (см. табл. 2).

Мощность процессов определяется скоростью переноса тех или иных объемов земляных или водных масс (рисунок). Понятие мощности процессов, отражающее энергетический потенциал в целом, позволяет сравнивать разнородные процессы между собой. Для этого устанавливается степень мощности по наибольшим величинам скоростей, которые могут переносить тот или иной объем (табл. 3). Инженерно-геологическое значение понятия мощности процесса выражается в опасности его проявления, поэтому относительную шкалу степени мощности следует рассматривать как степень опасности проявления процесса.

Таким образом, интенсивность процессов должна определяться их мощностью, но отсутствие данных позволяет определять и сравнивать их по скорости проявления или объемам смещений.

Каждый процесс обладает свойством экстенсивности и интенсивности, и различие этих свойств бывает очень велико. Природа современных геологических процессов такова, что многие отдельно взятые процессы — сейсмодислокации, обвалы и другие обладают высокой интенсивностью и малой экстенсивностью развития, а, например, процесс курumoобразования имеет максимальную экстенсивность и слабую интенсивность.



Поэтому нецелесообразно рассматривать активность развития каждого процесса по обеим категориям для большинства генетических типов современных процессов. Признаком, по которому можно типизировать активность проявления процессов, разделив их на две группы с разным энергетическим потенциалом, следует считать скорость их проявления как неуправляемое свойство процесса (см. табл. 2). Процессы, развивающиеся исторически медленно и геологически длительно, обладающие малой скоростью развития, следует относить к группе экстенсивно развивающихся и оценивать их по широте (площади) их распространения. Процессы, обладающие катастрофической и высокой скоростями, следует относить к группе интенсивно развивающихся. Процессы со средними скоростями могут относиться и к той, и к другой группе. Эти группы определяют режим развития экзогенных процессов.

Процессы группы экстенсивного развития обычно формируются на протяжении последних 10 000 лет последникового этапа. Поэтому соотношение между активностью проявления процессов групп интенсивного и экстенсивного развития предлагается принять с постоянным множителем 10^{-4} .

К группе интенсивного развития относятся: эндогенные процессы, выраженные на дневной поверхности; преобладающие типы процессов гравитационной группы; эрозионные руслового стока; абразионные; нивальные, а также частично просадочные процессы. Скорости протекания этих процессов очень высоки: при землетрясениях они измеряются секундами и минутами; при обвалах и лавинах — скоростью свободного падения; при движении горных русловых потоков, селей, оползней-потоков, вулканических излияний — измеряются км/ч. Все эти процессы имеют локальный или узколинейный характер проявления, занимают малые площади. Помимо высоких скоростей процессы этой группы опасны большими объемами смещений.

К группе экстенсивного развития относятся процессы разуплотнения и выветривания, криогенные и посткриогенные, заболачивания. Некоторые процессы в зависимости от зонально-климатических условий могут относиться как к одной, так и к другой группе.

Активность процессов одного генезиса и набор процессов разного генезиса зависят от особенностей геодинамических режимов и различны в разных типах геодинамической обстановки [4]. В зависимости от сочетания факторов автор предлагает выделять восемь рангов геодинамической обстановки [2]. Масштаб изображения на картах определяет, начиная с какого ранга или на каком ранге дается характеристика парагенетических комплексов. Независимо от ранга изображения принцип формирования парагенетических комплексов должен быть один.

При изображении на картах показываются экзогенные процессы только верхнего «этажа». Так, процесс выветривания на картах отражается в том случае, если активность его развития не снижена плоскостным смытом, или он не перекрыт аккумулятивными образованиями любых других процессов.

Таблица 3

Мощность процессов, определяющая опасность их проявления

Степень мощности процессов	Сочетание скоростей и объемов, определяющие степень мощности	Процессы, типичные для разных степеней мощности
Катастрофически опасная	I—1, I—2	Вулканические, сейсмологические, гравитационные, цунами, сели, пыльные бури
Очень опасная	II—3, II—2	То же, морская абразия
Опасная Средней опасности	II—3, III—2 III—3, III—4	» Перевевание, спывание, соскальзывание, смыв, абразия на озерах (и водохранилищах)
Малоопасная	IV—4, IV—5	То же, разуплотнение и выветривание, криогенные
Не опасная	IV—6	Солифлюкция, крип, курумы, заболачивание

Обосновление на той или иной территории, в том или ином масштабе парагенетических комплексов требует определения признаков выделения. Основным признаком выделения парагенетических комплексов является различие в фоновых процессах. Под фоновым процессом понимается экстенсивно развивающийся процесс, парагенетически связанный со всеми другими в определенном типе геодинамической обстановки. При детализации исследований (от ранга к рангу геодинамической обстановки) фоновые процессы различаются не только генетическим типом, но и активностью в пределах одного типа (степенью экстенсивности). При однородности по типу и степени активности фоновых процессов различие парагенетических комплексов определяется набором всех других, развитых совместно с фоновым. Это могут быть как экстенсивно проявляющиеся, занимающие меньшее пространство, чем фоновые, так и интенсивно развивающиеся. Интенсивно развивающийся процесс с наибольшей степенью проявления считается ведущим. При равных (близких) степенях проявления процессов ведущего может не быть. Название парагенетического комплекса характеризует сначала фоновый процесс и степень его проявления, затем все другие, входящие в состав комплекса с указанием ведущего. Например, умеренная степень фонового процесса размывания с малоопасным развитием гравитационно-солифлюкционных процессов, с ведущим оползневым средней по объемам смещений интенсивности.

Парагенетические комплексы можно записывать формулой, что ранее было предложено А. И. Шеко [5]. По его способу пораженность территории всеми развитыми на территории процессами определялась по проценту развития ведущего. В отличие от этого способа записи нами предлагается указывать в формуле как экстенсивность, так и интенсивность развития процессов (прописными и печатными буквенными знаками соответственно; например, экстенсивность эрозии — E , интенсивность — Е) и степень их проявления по предложенным относительным шкалам экстенсивности и интенсивности (степень показывается цифровыми индексами разного написания). Фоновый и ведущий процессы удобно обозначать буквенными индексами (E^F или E^v). Формула может иметь разный вид в зависимости от того, какая взаимосвязь между процессами в пределах парагенетического комплекса. Если один процесс (эрзия) прямо определяет развитие другого процесса (оползневого), то запись имеет вид $E^v \rightarrow E^F$. При этом активность может быть указана по степени и характеру проявления ведущего, как это предлагалось А. И. Шеко [5]. Если же процессы в пределах парагенетического комплекса зависят от разных факторов, как например выветривание — от

свойств пород, выходящих на поверхность, а плоскостной смыс — от интенсивности осадков и углов склонов, то запись имеет вид $4\mathcal{B}^{\Phi}+2\Pi^{\circ}$. При этом один из них может быть фоновым, а другой — ведущим. Если процессы равны по активности, то указывается их степень, но не пишется никаких буквенных индексов.

Отражение на картах пространственной изменчивости активности проявления процессов может быть выражено оценочным районированием на основе рангов геодинамической обстановки или картированием в каком-то одном ранге в зависимости от цели и масштаба исследований. В первом случае границы проводятся по морфологическим признакам фактора, определяющего тот или иной ранг геодинамической обстановки [2]. Во втором случае — по развитию явлений того или иного процесса и морфологическим признакам условий, определяющим его проявление. Естественно, что при изображении активности проявления процессов в мелких масштабах оцениваться могут только парагенетические комплексы, а в крупных и детальных масштабах — отдельные генетические типы процессов.

При определении степени активности процесса или парагенетического комплекса по экстенсивности развития непосредственно определяется процент пораженности территории этим процессом или комплексом. При определении активности проявления процессов по их интенсивности сначала по реальным физическим величинам устанавливается ее степень для определенных точек или в пределах ключевого участка, затем с помощью относительной (качественной) балльной оценки условий развития процесса (процессов) на изучаемой территории делается экстраполяция степени интенсивности процесса в пределах однотипной геодинамической обстановки по фактору, определяющему степень интенсивности.

Активность процессов на картах любых типов показывается цветом — одной гаммой экстенсивность, другой — интенсивность, а степень проявления — оттенками гаммы. Поэтому условные обозначения интенсивности и экстенсивности выражаются цветной шкалой. Генезис процессов показывается знаком — набором знаков развитых генетических типов или знаком комплекса.

Как прочность пород является главной характеристикой при инженерно-геологической оценке пород, так и активность процессов характеризует их современное состояние, которое является отправным при инженерно-геологическом прогнозе изменения геологической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Армандин Д. Л. О законе интенсивности физико-географического процесса//Географическая среда и рациональное использование природных ресурсов. М.: Наука, 1983. С. 204—211.
2. Пиогровская Т. Ю. Типы геодинамической обстановки и активность развития экзогенных геологических процессов//Инж. геология. М.: Наука, 1987.
3. Справочник по инженерной геологии/Под ред. М. В. Чуринова. М.: Недра, 1968. 400 с.
4. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. М.: Недра, 1985. С. 174—183; 294—321.
5. Шеко А. И. Современные геологические процессы на Черноморском побережье СССР. М.: Недра, 1976. 210 с.

УДК 551.343 : 550.838

ГУТКОВСКИЙ В. Н., ПИЛИПЕНКО М. Н., СЕМЕРЕНКО В. С.

**ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ
НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ
И ИХ ПРОГНОЗ**

Развитие определенных типов оползней на северо-западном побережье Черного моря, их интенсивность и активность определяются сочетанием двух групп факторов. К группе медленно изменяющихся факторов относятся геоструктурные особенности склонов и прежде всего положение сравнительно прочного слоя новороссийских известняков в глинистой толще неогена относительно уровня современной абрации [1], условия разгрузки в береговые склоны подземных вод. К быстро меняющимся факторам относятся: на региональном уровне — абрация и уровеньный режим моря, на локальном — избыточное увлажнение лессовых пород плато в результате техногенного подтопления оползневой зоны. В роли оползневого подвода все чаще выступает мгновенное в масштабе геологического времени изменение соотношения напряжений и прочности пород в массиве метастабильных склонов при техногенном воздействии.

При типизации склонов с учетом этих факторов, а также возраста пород в пределах основного деформируемого горизонта на северо-западном побережье Черного моря выделены три оползневых участка, включающих морские склоны от с. Санжейки до г. Очакова протяженностью 51,9 км. В настоящее время почти все народнохозяйственные объекты, расположенные на побережье, сосредоточены на одном из выделенных участков, включающем морские склоны городов Ильичевска и Одессы, а также междуречья Куяльницкий — Тилигульский лиманы.

Для этого участка, охватывающего 64,7% всех оползневых склонов северо-западного побережья, характерно залегание новороссийских известняков выше уровня моря с абсолютными отметками подошвы слоя 2–16 м. Основным деформируемым горизонтом являются меотические глины, имеющие в верхней части разреза lignitизированные прослои [2], к которым, как правило, приурочена нижняя граница оползневых деформаций. В оползневые склоны разгружаются водоносные горизонты песчаных прослоев меотиса и известняков новороссийского подъяруса. Кроме того, за счет многочисленных водопотребляющих объектов в прибрежной части плато, в плейстоценовых лессовых породах, подстилаемых водоупорными верхнеплиоценовыми глинами, формируются линзы грунтовых вод. По данным режимных наблюдений, в оползневой зоне Одессы в районе Дома творчества писателей, скорость подъема грунтовых вод в последнее десятилетие составила 0,06 м/год. Интенсификация этого процесса в границах застройки по всему побережью является причиной усиления техногенного оползневого фактора — избыточного увлажнения лессовых пород краевой части плато, приводящего к существенному изменению как механизма, так и природной цикличности оползней побережья.

На рассматриваемом оползневом участке от г. Ильичевска до Тилигульского лимана развиты оползни трех типов: 1) оползни течения, 2) оползни выдавливания без разрушения слоя известняков, с поверх-

ностью смещения в верхнеплиоценовых и меотических глинах (двухъярусные оползни), 3) оползни выдавливания с разрушением слоя известняков и поверхностью смещения в меотических глинах.

Оползни течения имеют ограниченное распространение, возникновение их связано с переходом склоновых образований из твердого состояния в вязкопластичное в местах разгрузки подземных вод оползневых массивов. Доминируют фронтальные оползни выдавливания с типичной блоковой структурой, механизм которых достаточно хорошо изучен [3]. В естественных условиях, не осложненных воздействием техногенных факторов, оползневой процесс на склонах северо-западного побережья вызван циклическим прохождением напряжений сжатия и релаксации вдоль оси оползня от клифа к уступу плато в стадии подготовки смещения и обратно – в стадии основного смещения, т. е. представляет собой природный повторяющийся процесс, связанный с внутренним источником гравитационной энергии и наличием постоянно действующего «пуксового механизма» – абразии. Именно так, по нашему мнению, развиваются типичные одесские оползни выдавливания третьего типа.

Однако, как видно из таблицы, на рассматриваемом оползневом участке побережья преобладают оползневые смещения второго типа, что можно объяснить интенсификацией техногенного подтопления как оползневого фактора. Избыточное увлажнение пород краевой части плато в границах водопотребляющих объектов приводит к появлению в уступе плато некомпенсированных сдвигающих сил и образованию оползневых блоков с поверхностью смещения в верхнеплиоценовых глинах, залегающих на известняках. При смещении блоки быстро разрушаются и в виде рыхлой массы переползают через недислоцированный слой известняков, пригружают нижнюю часть склона, вызывая там ускорение оползневых подвижек по существующей поверхности смещения в меотических глинах вплоть до образования валов выдавливания в подводной части склона. Развитие оползневых деформаций по этой схеме создает обстановку, когда напряжения, длительно нарастающие в результате постоянной абразии, частично снижаются в краевой части плато и не достигают величин, вызывающих хрупкое разрушение известняков. В этом случае глубокие оползни выдавливания третьего типа с длительным (свыше 30 лет) оползневым циклом, ранее характерные для данной части побережья, замещаются естественно-техногенными оползнями второго типа с более коротким циклом развития; это приводит к ускоренному оползневому разрушению застроенной части плато. В таблице видно также, что экстремумы активности оползней всех типов не совпали с максимумом абразии 1981–1982 гг. в северо-западной части Черного моря. Более детальные и длительные (с 1973 г.) наблюдения за динамикой оползневых стационаров также выявили неопределенный характер последовательности оползневых фаз по отношению к временному ходу абразии. Корреляционный анализ по оценке тесноты связи между величинами оползневых смещений и волнением моря в Одессе показал быстрое убывание положительной связи от клифа (коэффициенты корреляции 0,87) к голове оползня и ее исчезновении в прибрежной части плато [4].

В этой связи возникла важная практическая задача непосредственного изучения поля напряжений оползневого массива для прогнозирования оползневого процесса прежде всего с позиции оценки устойчивости склона. Для изучения возможностей решения этой задачи с учетом простоты и высокой производительности измерений был выбран бесконтактный метод регистрации естественной импульсной электромагнитной эмиссии глинистых пород, находящихся в поле переменных механических напряжений [5]. Наблюдения проводились на Сычавке – оползне выдавливания третьего типа, развивающемуся на склонах побережья

**Интенсивность абразионно-оползневых процессов на склонах побережья
от г. Ильичевска до Тилигульского лимана**

Год	Площадь оползней потоков, тыс. м ²	Площадь образовавшихся оползневых блоков, тыс. м ²		Объем отмытых пород, м ³ /пог. м.	Объем пляжевых наносов, м ³ /пог. м.
		второго типа	третьего типа		
1981	1,50 (1)	2,44 (7)	0,62 (2)	6,43	2,76
1982	1,95 (4)	1,45 (10)	0,92 (1)	7,87	3,23
1983	1,50 (1)	4,68 (5)	2,04 (2)	0,70	4,27
1984	—	1,86 (6)	1,60 (1)	1,77	5,20
1985	2,42 (8)	6,25 (10)	2,15 (3)	2,32	3,80
Всего:	7,37 (14)	16,68 (38)	7,43 (9)		

Примечание. В скобках указано количество оползней.

вблизи устья Тилигульского лимана, вне зоны застройки. Оползневыми деформациями затронуты породы четвертичного и неогенового возраста до отметки — 12,7 м, основная поверхность смещения в меотических глинах приурочена к лигнитизированному прослою мягкопластичной консистенции (рис. 1). Точки регистрации электромагнитной эмиссии (ЭМИ) пород расположены через 25 м по квадратной сетке, охватывающей склон и полосу плато шириной 50–100 м. Для измерений использовались приборы, изготовленные на базе радиометра СРП-68. При вариационных наблюдениях вне оползневой зоны был установлен суточный период с 9 ч. 30 м. до 13 ч. 30 м., наиболее оптимальный для регистрации литосферной составляющей импульсного электромагнитного поля. Активность механоэлектрических процессов оценивалась как по среднеквадратическому отклонению в каждой серии отсчетов, так и по величине скорости счета импульсов в каждой точке. Совпадение по обоим признакам позволило в дальнейшем выделять зоны аномальных напряжений по второму способу. В качестве аномальных рассматривались значения ЭМИ, в 2 и более раз превышающие среднее, за которое было принято модальное значение. Вариационные кривые строились раздельно для плато и склона (рис. 2), что было связано с преобладанием определенного характера деформаций (хрупких и хрупкопластичных в массиве пород плато, вязкопластичных на склоне) и отражено различными уровнями интенсивности ЭМИ.

От начала режимных наблюдений в августе и до конца 1983 г. на плато, между профилями 16–23, наблюдалась устойчивая во времени линейная зона аномалий ЭМИ. К середине октября 1983 г. в границах этой зоны на поверхности плато образовалась трещина растяжения длиной 94 м и шириной 0,06 м (рис. 3, а). В течение 1984 г. эта аномальная зона в краевой части плато постепенно сместилась в юго-западном направлении к профилям 19–23 с более высоким уровнем интенсивности. К концу года оползневая трещина на плато удлинилась в этом же направлении на 30 м и, достигнув бровки плато, отделила новый оползневый блок площадью 840 м² (рис. 3, б). В последующие годы аномальная зона ЭМИ сохранила свое положение в районе профилей 19–23 в течение всего цикла наблюдений. В декабре 1986 г. в этой части оползня высокие напряжения реализовались в виде еще одной оползневой трещины, отделившей от плато блок площадью 360 м² (рис. 3, в). Таким образом, в краевой части плато периодически прогрессирующего образования микротрещиноватости оползневого характера сопровождался стабильными пространственно-временными аномалиями ЭМИ в глинистых породах вплоть до образования макротрещин. При этом активность электрокинетических процессов в зоне полного разрушения структуры этих пород резко упала, величина ЭМИ снизилась до значений фона.

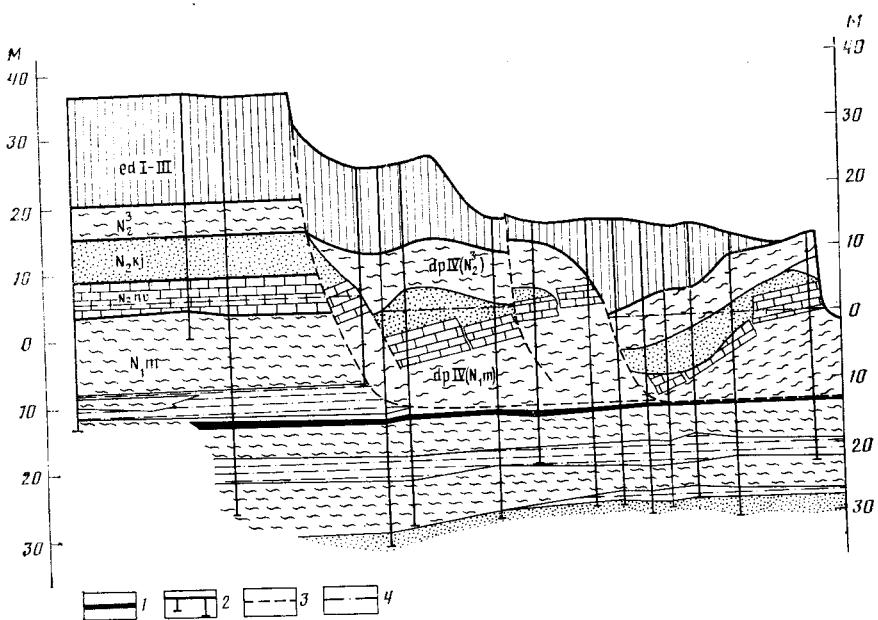


Рис. 1. Литолого-стратиграфический разрез оползня Сычавка, дрIV (N_2^3 , N_2^3 , N_{1m}) — делювиально-оползневые образования; ed I—III — плейстоценовые эолово-делювиальные лёссы, лёссовидные суглинки; N_2^3 — верхнеплиоценовые красно-бурые глины; N_2kj — куяльницкие пески; N_2nv — новороссийские известняки; N_{1m} — меотические глины, алевриты, пески. 1 — лигнитизированные глины; 2 — буровые скважины; 3 — поверхность смещения; 4 — уровень подземных вод

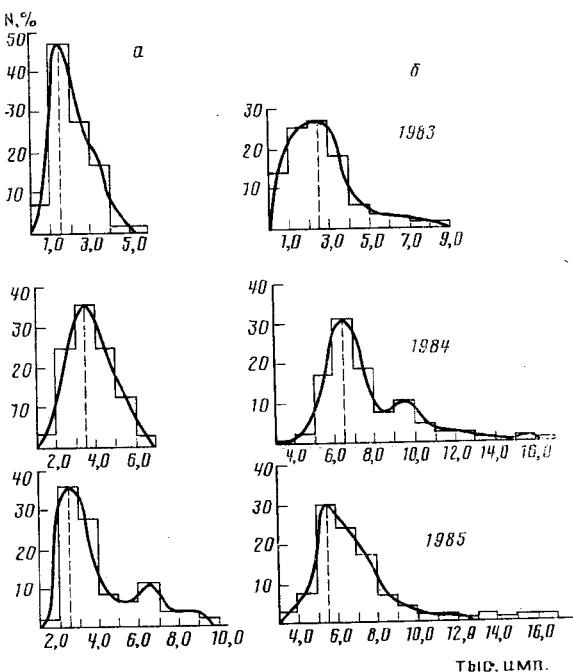


Рис. 2. Вариационные кривые интенсивности ЭМИ на оползне Сычавка;
а — склон; б — плато

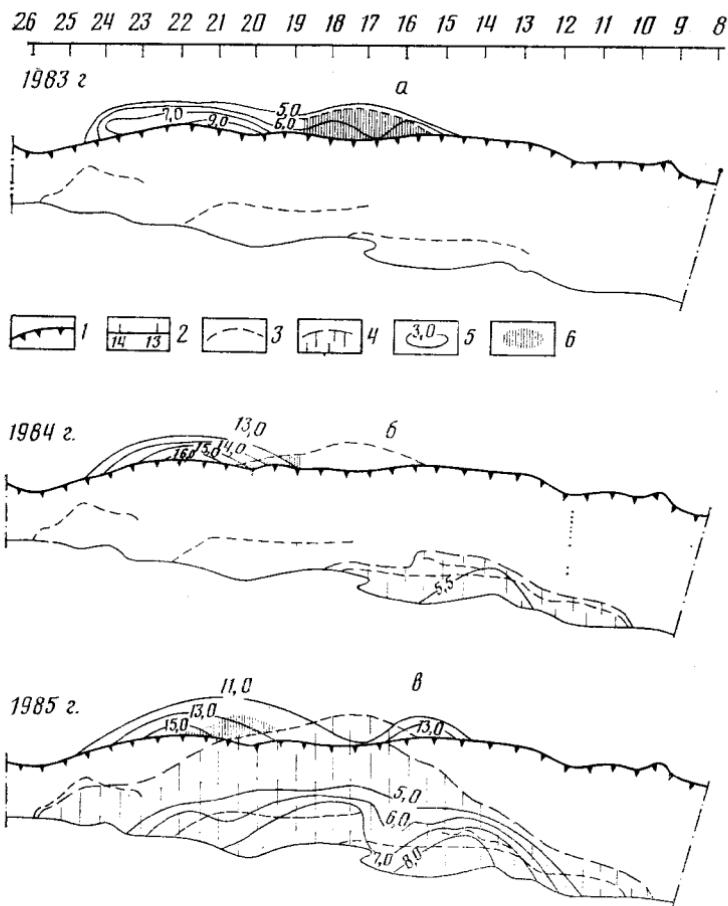


Рис. 3. Интенсивность ЭМИ пород на оползне Сычавка. 1 — бровка плато; 2 — номера профилей; 3 — активные трещины; 4 — зона ускорений оползневых смещений; 5 — изолинии аномалий ЭМИ, тыс. импульсов; 6 — оползневые блоки, образовавшиеся впоследствии

В пределах оползневых накоплений аномальные значения импульсного электромагнитного поля в течение всего цикла наблюдений отражали фазы регрессионных смещений (в нижней и средней части склона). В отличие от плато, возрастание значений интенсивности ЭМИ до аномальных значений наблюдалось на склоне одновременно или даже с небольшим запаздыванием по отношению к оползневым смещениям, что было связано с вязкопластическим характером деформаций, преобладающим на склоне.

Выводы

1. В условиях сплошной застройки прибрежной части плато на северо-западном побережье Черного моря существенно возрастает роль техногенного оползневого фактора — увлажнения лессовых пород краевой части массива. Реализация этого фактора в определенных условиях приводит к интенсификации своеобразных естественно-техногенных оползней, отличающихся более коротким циклом развития и ускорением оползневого разрушения плато. Возникновение фактора связано с утечками, сбросами использованных вод в грунты, созданием бессточных понижений на строительстве и эксплуатации объектов в оползневой зоне, засыпкой береговых оврагов без дренажей.

2. При отсутствии инженерной защиты активных абразионно-оползневых склонов использование метода режимной регистрации электромагнитной эмиссии пород оползневой зоны в условиях северо-западного побережья Черного моря позволяет оперативно получить качественную характеристику напряженного состояния оползневого массива и прежде всего прибрювочной части плато. По результатам наблюдений представляется возможным выполнение прогнозов направленности оползневого процесса, выявления потенциально опасных зон, сведения о которых могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации противооползневых мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черкез Е. А. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз методами лабораторного моделирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук.
2. Жихова В. В. О характере деформаций меотических глин оползневых склонов Одесского побережья//Материалы совещ. по вопросам изучен. оползней и мер борьбы с ними. Киев, 1964. С. 17—21.
3. Науменко П. Н. Закономерности развития и механизм катастрофических оползневых смещений на Одесском побережье//Тр. ВНИИ гидрогеологии и инж. геологии, 1968. Вып. 8. С. 50—55.
4. Прогноз экзогенных геологических процессов на Черноморском побережье СССР/Под ред. Шеко А. И. М.: Недра, 1979. С. 147—152.
5. Соломатин В. Н. Изучение оползневого процесса с помощью метода регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ)//Обзор ВИЭМС. Гидрогеология и инженерная геология. Вып. 10. М., 1981. С. 11—18.

Прочерноморская геологоразведочная экспедиция производственного объединения «Крымгеология»

Поступила в редакцию
17.VI.1987

УДК 551.345. (268)

ЖИГАРЕВ Л. А.

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ОКЕАНИЧЕСКОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ**

Океаническая криолитозона захватывает почти все пространство дна под акваториями Северного Ледовитого океана и окраинных арктических морей, за исключением областей циркуляции теплых атлантических, тихоокеанских и речных вод. Океаническая криолитозона изучалась многими отечественными и зарубежными исследователями. Большой вклад в постановку и решение этой проблемы на современном этапе внесли известные советские мерзлотоведы И. Я. Баранов, Н. Ф. Григорьев, В. М. Пономарев, Б. А. Савельев, П. Ф. Швецов и др.

Современная практика геологоразведочных, горных и строительных работ, а также дальнейшие перспективы поисков и разработок месторождений полезных ископаемых в арктических морях, строительства портовых, гидротехнических и магистральных сооружений требуют комплексного подхода к изучению океанической криолитозоны, включающего океанологические, геоморфологические, гидрохимические, литодинамические, гидрогеологические, палеогеографические исследования. В связи с хозяйственным освоением береговой зоны и шельфа арктических морей особо значительную роль приобретают инженерно-геологические исследования.

Океаническая криолитозона — это верхняя часть земной коры, с сезонными или постоянными отрицательными температурами, которая перекрыта слоем или толщей морских, а в эстуариях и речных вод. Основные факторы, определяющие в море охлаждение ниже 0°С, промерзание или протаивание пород подразделяются на внешние и внутренние. Внешними факторами являются поглощенная радиация, волновое и конвективное перемешивание толщи воды, адvection тепла течениями. Самым существенным фактором теплообмена в море является поглощенная радиация. В верхнем слое моря толщиной 10 м летом поглощается до 90% солнечной радиации. Поглощенное тепло перемешивается волновыми и конвективными движениями в толще воды до нескольких десятков метров. Этот верхний прогретый слой отделяется от нижележащих вод так называемым слоем скачка, который характеризуется большими вертикальными градиентами температур, концентраций и плотности. Значительные градиенты плотности не способствуют дальнейшему перемешиванию вод. Поэтому на больших глубинах температуры почти постоянны. Конвективное перемешивание начинается с наступлением осеннего охлаждения морских вод и зимой переходит в устойчивую вертикальную циркуляцию.

По Н. Н. Зубову [8], большую роль в зимнем перемешивании морских вод играет льдообразование. Перемешивание верхнего 30-метрового слоя воды происходит с теплоотдачей 6,69 кДж/кг·град без образования льда, но уже при перемешивании 40-метрового слоя воды требуется теплоотдача в 85,69 кДж/кг·град и лед толщиной 0,31 м, при перемешивании же слоя воды в 210 м теплоотдача равна 196,46 кДж/кг·град и лед толщиной 1,73 м. Большую роль в переносе тепла играют течения. Примером теплых течений являются Гольфстрим в Баренцевом и отча-

сти Печорском морях, тихookeанское в Чукотском и отчасти Восточно-Сибирском, Обь-Енисейское – в Карском море, Ленское – в море Лаптевых.

Основными внутренними факторами являются состав пород, влажность, концентрация порового раствора, давление вышележащей толщи воды и отложений. Известно, что состав и влажность осадков в значительной мере определяют интенсивность переноса тепла, обусловливая коэффициент эффективной теплопроводности. С повышением дисперсности отложений коэффициент теплопроводности уменьшается, а с увеличением влажности возрастает. Следует заметить, что морские осадки почти всегда являются водонасыщенными. Особое значение в формировании и развитии океанической криолитозоны имеет концентрация порового раствора донных осадков, которая зависит от засоленности придонного слоя морской воды и состава осадков. Концентрация порового раствора донных осадков обычно равна или больше концентрации солей в придонном слое морской воды. Концентрация порового раствора донных осадков в береговой зоне одного из участков моря Лаптевых до глубины 15 м составляет 38–81 г/кг, а на другом участке этого же моря – 13–68 г/кг, в одном из районов Восточно-Сибирского моря до глубины 30 м – 27–77 г/кг, в лагуне Чукотского моря до глубины 21 м – 50–157 г/кг. Высокая концентрация порового раствора донных осадков отмечается и в других районах арктических морей.

Давление толщи морской воды в пределах большей части акватории Карского моря составляет 5–20 атм, морей Лаптевых и Восточно-Сибирского – 2–10, Чукотского – 5–10, Баренцевого – 2–10 атм, а давление толщи осадков мощностью 10 и 100 м с объемным весом 2 т/м³ равно соответственно 2 и 20 атм. Суммарное давление под толщиной морской воды (без учета ее плотности) и осадков будет составлять минимальную величину 4 атм (при глубине моря 20 м и толще осадков 10 м) и максимальную – 40 атм (при глубине моря 200 м и толще осадков 100 м). На дне Северного Ледовитого океана с толщиной воды 1 км давление будет составлять 103 атм с учетом плотности воды.

Интегральным выражением внешних факторов является температура придонного слоя морских вод, а внутренних – температура замерзания порового раствора осадков. Характер распределения среднегодовых температур придонного слоя воды в арктических морях показан на рис. 1. Как было установлено полевыми работами Е. Н. Молочушкина и Л. А. Жигарева, в разных районах моря Лаптевых среднегодовая температура этого слоя воды близка к среднегодовой температуре отложений на подошве слоя ее годовых колебаний. Поэтому температура придонного слоя воды является основной температурной характеристикой подводных отложений.

Определенной концентрации солей в поровых растворах, как известно, соответствуют температура точек замерзания этого раствора и период его кристаллизации. Повышенная концентрация солей в морской воде и в слое донных осадков приводит к снижению температуры точек замерзания порового раствора и увеличению периода их кристаллизации. При увеличении концентрации солей в морской воде на 1 г/кг точка замерзания ее понижается на 0,054° С. При указанных выше значениях концентрации солей в поровых водах осадков их точки замерзания колеблются в очень широких пределах: от –0,7 (13 г/кг) до –8,5° С (157 г/кг). Повышенная концентрация солей в осадках характерна для лагун и мелководных участков моря, на которых вследствие особенностей рельефа морского дна и нарастания припайного льда образуются замкнутые изолированные водоемы и нарушаются водообмен с морем.

Давление толщи морской воды и осадков вызывает значительно меньшее понижение точки замерзания осадков, чем концентрация их



Рис. 1. Среднегодовые температуры придонного слоя воды арктических морей за многолетний период

порового раствора. Известно, что с повышением давления на 1 атм точка замерзания раствора понизится на $0,0075^{\circ}\text{C}$, а порового раствора — на $0,0055^{\circ}$. Следовательно, при указанном выше минимальном давлении температура замерзания порового раствора понизится на $0,022^{\circ}\text{C}$, а при максимальном — более чем на $0,22^{\circ}\text{C}$. Величина малая, но не способствующая промерзанию и может существенным образом сказаться на льдистости реликтовых мерзлых толщ.

Таким образом, рассмотренные внешние и внутренние факторы, от которых зависит охлаждение ниже 0°C , промерзание или протаивание и их интегральные показатели целиком и полностью предопределяют возможность формирования в морях и океанах современных криогенных пород.

Вопрос о сохранении в арктических морях реликтовых (плейстоценовых и голоценовых) многолетнемерзлых пород (ММП) является, как неоднократно нами подчеркивалось, более сложным, чем формирование современных мерзлых пород. Это связано не только с указанными внешними и внутренними факторами, но и с палеогеографическими и теплофизическими условиями, а также с динамикой береговой зоны моря. К перечисленным условиям относятся развитие трансгрессий и регрессий, мощность ММП перед затоплением их морем, длительность пребывания ММП под дном моря, разрушение берегов и подводного берегового склона, внутриземный поток тепла, теплофизические свойства отложений.

Наиболее значительным фактором является мощность ММП перед затоплением их морем. А. Х. Лахенбрук и др. [13] на основании теории теплопроводности определили, что после затопления морем разрушенного термоабразией участка суши время восстановления температур подводных отложений в соответствии с новыми субаквальными условиями прямо пропорционально квадрату мощности ММП и обратно пропорционально четырехкратному коэффициенту температуропроводности. Для залива Прадхо Бей это время составляет 1800 лет. Причем протаивание снизу в этот период за счет внутриземного теплопотока незначительно и составляет 0,5 см/год, но затем оно увеличивается до 1,5 см/год. Время полного протаивания мерзлой толщи мощностью 600 м в Прадхо Бей только за счет внутриземного теплопотока достигает 40 тыс. лет. Но на мелководье, образующемся при термоабразионном разрушении берегов, в интервалах глубин $2\text{--}3\div 5\text{--}7$ м отмечаются положительные среднегодовые температуры морской воды [4], что вызывает интенсивное протаивание мерзлых отложений и сверху. Поэтому время протаивания сверху и снизу в Прадхо Бей будет значительно меньше указанного, так как прохождение морем этого интервала глубин при трансгрессии составляет сотни, а возможно и тысячи лет.

В том случае, если мощность ММП перед затоплением их морем составляла 200 м, время восстановления температуры подводных отложений уменьшается до 200 лет, за которые снизу протаивает всего 2 м, а время полного протаивания мерзлой толщи такой мощности составит всего 13 тыс. лет. С учетом протаивания сверху эта величина будет еще меньше. Отсюда можно утверждать, что полная деградация ММП при первоначальной мощности, равной 230 м (побережье на востоке Восточно-Сибирского моря) завершится значительно раньше, чем при мощности 640 м (побережье моря Лаптевых). Действительно, в первом районе не наблюдается реликтовых субаквальных ММП, тогда как в море Лаптевых отмечается довольно широкое распространение изолированных массивов реликтовых ММП.

Регрессия морей Лаптевых и Восточно-Сибирского в зырянское и сартанское время вызвала продвижение береговой линии на сотни километров к северу, но вблизи этой границы мощность ММП была крайне незначительна или они вообще отсутствовали из-за кратковременности

субаэрального этапа развития и сильной засоленности отложений, вышедших из-под уровня моря. В направлении к современной береговой линии мощность ММП неизменно увеличивается, достигая максимума на побережье. Исключение составляют острова, разрушенные термоабразией в периоды межледниковой (Q_3^3) ингрессии и послепозднеледниковой ($Q_3 - Q_4$) трансгрессии, на месте которых сохранились реликтовые ММП самой разнообразной мощности, зависящей от длительности их пребывания под дном моря, особенно в интервале глубин наибольшего прогрева водных масс. Примером наибольшей мощности сохранившихся на открытом шельфе моря Лаптевых реликтовых ММП является район Земля Васема. Расчет деградации реликтовых ММП на подводном береговом склоне при термоабразии берега Земля Васема, выполненный Л. А. Суходольской и В. П. Черниядьевым на гидроинтеграторе ИГ-2, показал, что за 10 тыс. лет при температурах придонного слоя воды моря Лаптевых $-1,8 + 1,4^\circ\text{C}$ мерзлые породы предполагаемой первоначальной мощностью 400 м могли протаять сверху на 84 м, а снизу — на 245 м [7]. При этом в районе изобаты 8 м должны сохраниться реликтовые ММП мощностью 70 м. Минимальная глубина над банкой Земля Васема составляла 0,2—0,6 м (промеры 60-х г.). Естественно, что в пределах этих глубин мощность реликтовых ММП близка к первоначальной. Если принять, что 10 тыс. лет назад берега Земли Васема проходили по современной 8-метровой изобате, то за все это время ее южный берег отступил в результате воздействия теплых ленских вод на 21,5 км, а северный — из-за ледовитости моря Лаптевых всего лишь на 6,5 км. Это дает среднюю скорость термоабразии соответственно 2,2 и 0,6 м/год, близкую к наблюденной скорости разрушения о-ва Семеновского [7].

Разрушение современных континентальных и островных берегов и подводного берегового склона также обуславливает возможность существования в море реликтовых ММП. С увеличением скорости отступания берегов при прочих равных условиях возрастает площадь подводных ММП. Наиболее часто повторяющиеся значения скоростей отступания берегов составляют по Ф. Э. Арэ [1] в Карском море 2,0—2,5 м/год, в море Лаптевых и западной части Восточно-Сибирского моря — 4—5 м/год. Сравнительно большие скорости отступания берегов в указанных морях связаны с очень высокой льдистостью отложений в береговых откосах, достигающей в их верхней части 86—91% всего объема пород [3]. Обрушение такого берега происходит почти мгновенно, но подготовка к нему, заключающаяся в удалении продуктов обрушения и выработке ниш размыва у основания берега, занимает несколько лет и зависит от размеров решетки полигонально-жильного льда и силы штормов. Углубление моря у берега связано с размывом подводного берегового склона. По Е. В. Клюеву, размыв подводного берегового склона в море Лаптевых между устьями рек Анабар и Оленек на участке термоабразионного берега в пределах изобаты 3,5 м составляет 0,02—0,04 м/год.

Большую роль в деградации реликтовых ММП играет внутриземный поток тепла. По Е. А. Любимовой и др. [10] средние значения теплового потока в Северном Ледовитом океане повсюду, за исключением рифтовой долины хр. Гаккеля, равны или несколько меньше среднего значения внутриземного теплопотока в континентальных областях. Тепловой поток связан прямой зависимостью с градиентом температуры. Крайне высокие градиенты температуры характерны для рифтовой долины хр. Гаккеля, хр. Ломоносова, менее высокие — для котловины Амундсена и Макарова и хр. Менделеева и более низкие — для ряда участков шельфа арктических морей.

На основании всех перечисленных выше факторов, а также распределения глубин морей можно сделать выводы о распространении криогенных пород. Наиболее широко распространены в океанической крио-

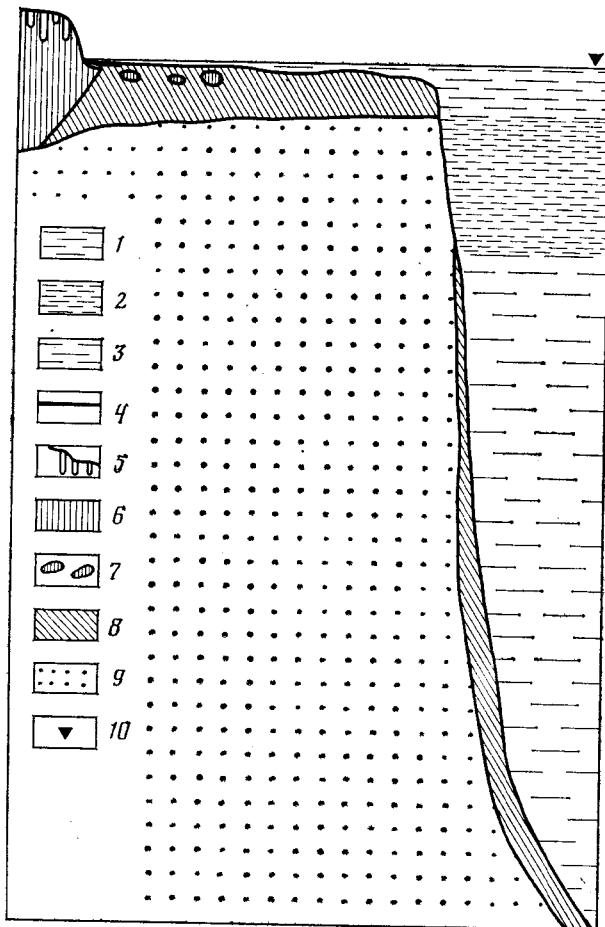


Рис. 2. Принципиальная схема строения океанической криолитозоны.
 1 — Холодные арктические воды; 2 — теплые атлантические воды; 3 — теплые арктические воды; 4 — слой сезонного промерзания; 5 — подрусловые и подозерные талики; 6 — многолетнемерзлые породы; 7 — изолированные массивы многолетнемерзлых пород; 8 — породы, охлажденные ниже 0°C ; 9 — положительно-температурые породы; 10 — уровень моря

литозоне породы, охлажденные ниже 0°C , которые маломощным слоем (десятка метров) залегают в абиссальной части океана и мощной (до нескольких сот метров) толщей с криопэгами — на арктическом шельфе (рис. 2). На дне арктических морей локально распространены морозные породы, которые фиксируются обычно по выходам скальных плит.

Реликтовые ММП залегают в виде отдельных изолированных массивов в границах озерно-аллювиальной равнины зырянско-каргинского времени или отходят от абразионных и термоабразионных берегов континентальной и островной суши (см. рис. 2). На основании распространения на дне морей песчаных банок можно предположить, что наиболее широко реликтовые ММП распространены в пределах 30-метровой изобаты в море Лаптевых, в западной части Восточно-Сибирского моря и в море Бофорта; реже они встречаются в Карском море, почти полностью отсутствуют в Чукотском, в морях северной Атлантики и Тихого океана. Во всех морях и океанах северного полушария реликтовые ММП залегают вдоль абразионных и термоабразионных берегов. Их мощность зависит от скорости процессов разрушения берега, времени начала его разрушения и расстояния от современной береговой линии, т. е. чем

выше скорость, тем больше мощность, а с увеличением времени и расстояния от берега мощность уменьшается.

Современные ММП распространены на всех недавно вышедших из-под уровня моря участках, а также и на акваториях морей у аккумулятивных берегов на глубинах, меньших толщины припайного льда. Вследствие высокой теплопроводности льда и малой толщины снежного покрова донные осадки на участках берегового припая глубоко промерзают. Ежегодно повторяющееся глубокое промерзание сначала приводит к формированию перелетков, а затем и к новообразованиям мерзлых пород. Новообразованные толщи мерзлых пород из-за разной солености осадков характеризуются слоистостью, когда более грубые и менее засоленные мерзлые осадки чередуются с более дисперсными и засоленными породами, охлажденными ниже 0° С. Современные ММП распространены полосой различной ширины (от сотен метров до 35–40 км).

Породы, охлажденные ниже 0° С, реликтовые и современные ММП частично перекрываются сезонно-мерзлыми образованиями. В морях северного полушария можно выделить четыре вида сезонно-мерзлых пород, образующихся в результате: 1) смерзания припайного льда с донными осадками; 2) смерзания торосов и стамух с донными осадками; 3) стока в море пресных подземных вод; 4) осенне-зимнего внедрения галоклина в устьевые взморья и эстуарии [15].

На поверхностях, вышедших из-под уровня моря (осушки, пляжи, косы, пересыпи, бары и т. д.) или находящихся под маломощным слоем воды, распространены сезоннопротаивающие отложения. Вследствие высокой концентрации солей в поровых водах эти породы протаивают значительно раньше и на большую глубину, а промерзают позже, чем незасоленные отложения.

В породах арктического бассейна, охлажденных ниже 0° С, обычно широко распространены безнапорные подземные воды — криопэги. Они встречаются одинаково часто как в подводных отложениях на участках открытого шельфа вдали от берега, так и поблизости от него в прибрежной части моря. Например, в одной губе моря Лаптевых линзы подземных криопэгов были встречены у берега на глубине 10–12 м от дна моря (над ММП), на расстоянии 120–360 м от него — на глубинах 27–49 м, в 560–600 м от берега в положительно-температурных породах были обнаружены пэги в интервале глубин 56–90 м. На малых глубинах в этом районе (до 23 м от дна) подземные криопэги имеют типично морской химический состав, а на больших — хлоридно-кальциевый слабой концентрации. Следовательно, широкое распространение в большинстве случаев криопэгов, отсутствие сколько-нибудь выраженного метаморфизма свидетельствуют о том, что они не являются глубинными. Возможно, линзы морских подземных криопэгов являются реликтами позднеледниковой регрессии моря или поднятия суши. Тогда они должны залегать в границах послепозднеледниковой озерно-аллювиальной равнины.

Криогенное строение пород океанической криолитозоны как советскими, так и зарубежными исследователями изучено очень слабо. По керну скважин обычно отмечается массивная криогенная текстура. Изредка наблюдалось высокое льдонасыщение пород [6], вплоть до появления многометровых прослоев «чистого» льда [11]. По-видимому, такого рода отложения являются реликтами зырянского, сартанского или поздневисконсинского времени. Криогенное строение сезонно-мерзлых прибрежно-морских отложений изучали Л. А. Жигарев и И. Р. Плахт вблизи берега одного из заливов моря Лаптевых. Криогенная текстура песчаных, алевритовых осадков с включениями гальки и щебня представляет собой разнонаправленные, часто субвертикальные, очень тонкие (до 1 мм) шлиры льда длиной 5–7 см, которые проникают в отложения на глубину 0,2–0,25 м. Е. М. Катасонов такую текстуру называет

лучевидной или игольчатой. Она характерна для сильно увлажненных осадков, быстро промерзающих не только сверху, но и сбоку. Е. М. Катасонов [9] в условиях регрессионного мелкого моря придает основное значение боковому промерзанию, относя водные осадки к типично сингенетическому типу и считая, что постседиментационные изменения для них не характерны. Между тем следует отметить значительное уплотнение морских осадков, которое происходит сразу же после их протаивания в результате фильтрационной консолидации [5]. Такие осадки занимают, вероятно, промежуточное положение между сингенетическими и эпигенетическими отложениями. Следовательно, в морских условиях развивается своеобразный криодиагенез, являющийся определенной стадией криолитогенеза в целом. Относительно глубоководные морские осадки, накапливающиеся до промерзания, проходят полный цикл диагенетических физико-химических преобразований и в завершающую стадию регрессии моря промерзают эпигенетическим путем. И. Д. Данилов [2] на основании сложного криогенного строения, особого температурного режима, условий формирования и литолого-фациального строения предлагает выделить криогенную шельфовую формацию, в составе которой намечает фации открытого шельфа, сублиторальные и литоральные.

Засоленные мерзлые грунты представляют собой трехфазную пятикомпонентную среду и характеризуются особыми физическими и физико-механическими свойствами, зависящими как от общей минерализации, так и от температуры замерзания порового раствора [5]. Особые свойства засоленных мерзлых грунтов связаны с повышенным содержанием в них незамерзшей воды. Так, в заливе Прадхо Бей моря Бофорта [12, 14] глинистые алевриты, скементированные льдом, при $t = -4,5^{\circ}\text{C}$, $W_c = 37\%$, $S = 31,3\%$ содержали $W_n = 14,8\%$ (от $W_c 40\%$), а при $t = -2,4^{\circ}\text{C}$, $W_c = 56\%$ и $S = 45\%$ — $W_n = 30,8\%$ (от $W_c 55\%$), что в 3—6 раз больше, чем в незасоленных грунтах примерно такого же состава. Поэтому при одних и тех же отрицательных температурах прочность, сжимаемость, а следовательно, и несущая способность рассматриваемых грунтов значительно меньше, чем пресных.

Таким образом, в свете рассмотренных особенностей и закономерностей формирования океанической криолитозоны и в связи с возрастающей интенсивностью хозяйственного освоения шельфов арктических морей, а также их береговой зоны инженерно-геологические исследования являются наиболее важным звеном комплексного решения этой проблемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арэ Ф. Э. Термоабразия морских берегов. М.: Наука, 1980. 160 с.
2. Данилов И. Д., Жигарев Л. А. Некоторые аспекты морской криолитологии арктической литорально-шельфовой зоны//Географические проблемы изучения Севера. М.: МГУ, 1977. С. 115—135.
3. Жигарев Л. А. Термоденудационные процессы и деформационное поведение промерзающих грунтов. М.: Наука, 1975. 110 с.
4. Жигарев Л. А. Развитие криолитозоны Восточно-Сибирского и Чукотского морей в плейстоцене и голоцене//История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М.: Наука, 1981. С. 181—191.
5. Жигарев Л. А. Особенности формирования свойств засоленных грунтов//Мерзлотные исследования. Вып. XXI. М.: МГУ, 1983. С. 185—189.
6. Жигарев Л. А., Плахт И. Р. Особенности строения, распространения и формирования субаквальной криогенной толщи//Проблемы криолитологии. Вып. 4. М.: МГУ, 1974. С. 115—124.
7. Жигарев Л. А., Совершаев В. А. Термоабразионное разрушение арктических островов//Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 1984. С. 31—38.
8. Зубов Н. Н. Морские воды и льды. М.: Гидрометеоиздат, 1938. 453 с.
9. Катасонов Е. М. Типы мерзлых толщ и проблемы криолитологии//Геокриологические и гидрогеологические исследования Сибири. Якутск: Кн. изд-во, 1972. С. 6—16.

10. Любимова Е. А., Никитина В. А., Томара Г. А. Тепловые поля внутренних и окраинных морей СССР. М.: Наука, 1976. 224 с.
11. Hunter J. A. M. et al. Permafrost and frozen sub-sea bottom materials in the southern Beaufort Sea//Techn. Report. N. 22. 1976. P. 174.
12. Iskander I. K. Osterkamp T. E., Harrison W. D. Chemistry of interstitial water from sub-sea permafrost Prudhoe Bay, Alaska//Proc. 3-rd Intern. Conf. Permafrost. Edmonton, 1978. V. 1. Ottawa, 1978. P. 93—98.
13. Lachenbruch A. H., Sass J. H., Marshall B. V., Moses T. H. Permafrost, heat flow and the geothermal regime of Prudhoe Bay, Alaska//J. Geophys. Res. V. 87. 1982. P. 9301—9316.
14. Osterkamp T. E., Harrison W. D. Sub-sea permafrost regime at Prudhoe Bay, Alaska USA//J. Glaciology. V. 19. N. 81. 1977. P. 627—637.
15. Zhigarev L. A. Permafrost beneath the Arctic seas//Final Proc. Fourth Intern. Conf. 1983. Washington, 1984. P. 311—314.

Московский государственный
университет

Поступила в редакцию
10.VI 1987

УДК 624.131

КОРОБАНОВА И. Г., НЕФЕДОВА Т. В., ЧЕРНЯК Э. Р.

**ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГРУНТОВ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В СВЯЗИ С ПРОКЛАДКОЙ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Проблема охраны и рационального использования геологической среды в связи с обустройством нефтяных и газовых месторождений чрезвычайно актуальна для северных районов страны, где природа чутко реагирует на любое техногенное вмешательство. Строительство трубопроводов и сопутствующих сооружений приводит к существенному изменению инженерно-геологических условий осваиваемой территории, активизации современных физико-геологических процессов и возникновению инженерно-геологических техногенных процессов, способствующих необратимым изменениям геологической среды.

При прогнозе изменения различных параметров геологической среды особое значение приобретает исследование грунтовой толщи в зоне влияния сооружения, так как именно с ней связано формирование инженерно-геологических процессов, неблагоприятных как для сооружения, так и для самого ландшафта. Особый интерес представляет исследование свойств грунтов, служащих для обратной засыпки и балластировки трубопроводов, и прогнозирование изменения этих свойств при экскавации грунтов. Это обусловлено тем, что грунты обратной засыпки находятся в структурно-неустойчивом состоянии и особенно четко реагируют на любое техногенное вмешательство, а кроме того слабо изучены с инженерно-геологических позиций. Решение вопроса о рациональном использовании природных грунтов района в качестве материала для обратной засыпки и балластировки трубопроводов, с учетом закономерностей их изменения во времени, позволит снизить затраты на балластировку анкерными устройствами и железобетонными пригрузками, а также транспортные расходы.

Исследования закономерностей изменения инженерно-геологических свойств средневерхнечетвертичных отложений севера Западной Сибири при использовании их в качестве обратной засыпки и балластировки трубопроводов проводились в лаборатории исследования инженерно-геологических свойств грунтов Производственного и научно-исследовательского института по инженерным изысканиям в строительстве в 1981–1985 гг. В процессе работы решались следующие задачи: 1) исследование инженерно-геологических особенностей характерных литологических типов грунтов, служащих исходным материалом для создания обратной засыпки на территории северотаежной зоны Западной Сибири; 2) установление закономерностей изменения инженерно-геологических свойств изученных грунтов при нарушении их сложения в процессе экскавации с целью использования их в качестве обратной засыпки и балластировки трубопроводов; 3) выявление состояния обратной засыпки в зависимости от различных природных и антропогенных факторов — рельефа местности, гидрогеологических условий, физико-геологических условий, физико-геологических процессов, инженерно-геологических свойств грунтов, способа укладки и режима эксплуатации трубопроводов.

Объект, методика и методы исследований

Объектом исследований послужили природные и техногенные грунты северного 200-километрового участка трассы трубопровода Надым—Пунга. На этом участке распространены все типичные для северотаежной зоны природно-территориальные комплексы. Строительство газопровода было начато в 1972 г. и продолжалось с небольшим промежутком 11 лет. Линейная его часть представляет полосу шириной от 600 м до 1,5–2 км, в пределах которой в разное время проложены семь ниток трубопроводов. В связи со сложностью условий строительства и трудностью проезда для любого вида транспорта, укладка труб и балластировка их производилась в зимний период, что отразилось в макротекстуре грунтов обратной засыпки.

Обратная засыпка первоначально представляет собой неоднородную смесь смерзшихся комьев грунта разного литологического состава, льда, снега, неразложившейся древесины. По окончании периода снеготаяния в насыпи остаются пустоты, макропоры, которые исчезают по истечении двух-трех лет в процессе самоуплотнения. В исследуемом районе с островным распространением многолетнемерзлых пород транспортировка газа производится при положительной среднегодовой температуре, что приводит к формированию ореолов оттаивания в зоне теплового влияния трубы.

Специфика объекта и поставленных задач обусловила методику и методы исследования. Работы выполнялись на участках, которые включали пойму реки Лонг-Юган, I и II надпойменные террасы, Зырянскую озерно-аллювиальную и Салехардскую прибрежно-морскую равнины. Были опробованы заболоченные и сухие участки поймы, долины малых водотоков, заболоченные и сухие участки террас, озерно-аллювиальной и прибрежно-морской равнин. На каждом из участков закладывались «поперечники», пересекающие всю полосу трассы газопровода. Для оценки изменения состава, свойств и состояния грунтов при нарушении их естественного сложения в непосредственной близости от каждой из насыпей, а также в самих насыпях проводилось параллельное опробование. Изучение изменения состава и свойств грунтов обратных засыпок осуществлялось путем сопоставления результатов опробования насыпей, уложенных в одном коридоре в разное время с давностью отсыпки от 0,5 до 11,5 лет.

Полевые исследования включали опробование грунтов полевыми методами непосредственно в массиве, отбор образцов и монолитов для лабораторных испытаний, описание и фотографирование насыпей разного возраста, анкерных креплений и железобетонных пригрузок, а также проявлений неблагоприятных для газопровода инженерно-геологических процессов. Выборочно на участке трассы протяженностью 40 км проводилось морфометрическое обследование насыпей возраста 1,5 и 8,5 лет с фиксированием различных элементов размыва, их размеров, направления, формы с целью изучения интенсивности процесса размываемости во времени и зависимости его от свойств грунтов и вида ландшафта. Среди методов опробования грунтов предпочтение отдавалось методам зондирования, которые дают возможность охарактеризовать весь неоднородный массив и получить среднюю по интервалу опробования характеристику прочностных свойств. Зондировочные работы проводились ударным (легкий забивной зонд ЛЗЗ-3 конструкции МИСИ) и вибрационным (легкая переносная установка, разработанная в ПНИИСе) методами. Оценка показателей свойств грунтов по данным зондирования проводилась на основе установленных корреляционных зависимостей. Определение плотности грунта производилось в приборе Ковалева и методом режущих колец (объем грунта от 200 до 8600 см³). Влажность определялась в приборе Ковалева и термовесовым методом.

Лабораторные исследования состава и физико-механических свойств грунтов проводились по стандартным методикам. Суффозионные характеристики определялись в приборе Славянова. Для изучения закономерностей изменения свойств грунтов при техногенезе было выполнено лабораторное моделирование с целью установления влияния увлажнения на прочностные и деформационные свойства грунтов естественного и нарушенного сложения.

Инженерно-геологические особенности средневерхнечетвертичных отложений северных районов Западной Сибири

Изученные средне- и верхнечетвертичные породы северных районов Западной Сибири являются отложениями современной терригенной формации верхнего структурного этажа платформенного чехла Западно-Сибирской плиты. Среди них выделены морские, прибрежно-морские и ледниково-морские отложения салехардской свиты, озерно-аллювиальные отложения зырянской свиты, аллювиальные отложения каргинского и сартанского горизонтов, а также современные аллювиальные и элювиально-делювильные отложения.

Несмотря на пестроту фаций, входящих в состав современной терригенной формации Западной Сибири, в ней легко подметить ряд характерных петрографических признаков. Это в первую очередь преобладание алевритов, пылеватых мелкозернистых песков, тонкодисперсных глин. Состав пород, сформировавшийся в условиях избыточного увлажнения, при замедленных темпах химического выветривания, характеризуется высоким содержанием инертных кварцевых песчано-алевритовых фракций и органоминеральных соединений в виде гелей и слабоокристаллизованных коллоидов, низкой физико-химической активностью глинистой составляющей и, как правило, слабой минерализацией кислых сред поровых растворов. Характерно присутствие в поглощенном комплексе глинистых фракций водорода и алюминия. Общая минерализация поровых растворов не превышает 3 г/л, а чаще не выше 1 г/л. Глинистым и суглинистым породам всех возрастных групп свойственны невысокие величины емкости обмена (6–16 мг/экв на 100 г сухой породы), что свидетельствует о их малой физико-химической активности. В наиболее дисперсных, главным образом морских салехардских и озерно-аллювиальных отложениях величины емкости обмена возрастают до 17–22 мг/экв на 100 г сухой породы, а в образцах супесчаных и песчаных пород независимо от их возраста и генезиса величины емкости обмена падают до 1–4 мг/экв.

Дисперсность средневерхнечетвертичных отложений северных районов Западной Сибири изменяется в широком диапазоне. Среди аллювиального комплекса современных отложений поймы, а также I и II надпойменных террас преобладают пески мелкие, реже пылеватые; супеси встречаются в виде отдельных линз и прослоев и имеют подчиненное значение. Для комплекса озерно-аллювиальных отложений зырянской свиты характерно наличие мелкого и пылеватого песка, супеси легкой и тяжелой, а также суглинка легкого, среднего и тяжелого с большим содержанием пылеватой фракции (30–70%). Ледниково-морские, прибрежно-морские и морские отложения салехардской свиты представлены наиболее сложным комплексом грунтов от мелкого, пылеватого, реже крупного песка, легкой и тяжелой супеси до суглинка легкого, среднего, тяжелого и глины тяжелой и пылеватой. Как правило, для суглинков характерно достаточно высокое содержание пылеватой фракции (30–70%).

Несмотря на разнообразие гранулометрического состава пород различного генезиса отмечается общая особенность изученных отложе-

ний — пылеватость грунтов, отчетливо проявляющаяся в микроагрегатном составе. Преобладает фракция мелкого песка и крупной пыли (0,1—0,01 мм), содержание которой в среднем для суглинков — 66%, супесей — 53, песков — 25%. Такой состав, очевидно, связан с агрегацией тонкодисперсных частиц в процессе формирования осадка.

Таким образом, специфика состава изученных грунтов и характер структурных связей обусловлены присутствием в тонкодисперсных фракциях «инертных» кварцевых частиц с малой физико-химической активностью, с одной стороны, и наличием органического вещества и подвижных форм железа и алюминия — с другой.

Специфика состава сказывается на инженерно-геологических свойствах грунтов. К особенностям грунтов северных районов Западной Сибири можно отнести следующее. 1. Аномальное поведение грунтов в отношении их пластических свойств, заключающееся в несоответствии между гранулометрическим составом и числом пластичности. Грунты по числу пластичности относящиеся к супесчаным, содержат в своем составе до 20—30% частиц глинистой фракции; в группе суглинистых грунтов содержание глинистой фракции изменяется от 20—30 до 50—60%; к глинистым грунтам с числом пластичности более 17 относятся породы, содержащие в своем составе более 50—60% глинистых частиц. Слабо выраженная пластичность исследуемых грунтов еще раз указывает на малую гидрофильтрность и низкую физико-химическую активность их глинистой составляющей, в составе которой присутствует тонкодисперсный кварц. 2. Способность грунтов при небольших потерях влажности (1—4%) резко изменять свое состояние и свойства, переходя, например, из текучего состояния в твердое, что приводит к значительному увеличению сцепления. 3. Высокие углы внутреннего трения у суглинков (до 35°). Эта особенность объясняется значительным содержанием инертных пылеватых и тонкопесчаных фракций, а также высокой агрегированностью глинистых частиц ($K_{0,005} = 2,5—5,8$). 4. Склонность песчаных грунтов к плавунности при обводнении, на что указывает значительное снижение угла откоса песков при обводнении (от 37—41 до 25—30°), связанное с присутствием органических коллоидов. 5. Склонность глинистых грунтов к тиксотропному разупрочнению при механическом воздействии (удар, вибрация). Опыты показывают, что структурная прочность связных грунтов падает, однако при прекращении механического воздействия происходит полное или частичное восстановление прочности.

Таким образом, на территории северотаежной зоны Западной Сибири развиты преимущественно слабые, структурно-неустойчивые, часто водонасыщенные грунты, склонные к размываемости, механической суффозии, тиксотропному разупрочнению, плавунности, что необходимо учитывать при проектировании трубопроводов и сопутствующих сооружений.

Изменение инженерно-геологических свойств грунтов в зоне влияния трубопроводов

Инженерно-геологические свойства грунтов обратной засыпки изменяются под влиянием гравитационных сил и физико-химических процессов. Это проявляется в первоначальном разуплотнении грунтов, проявлении процессов механической суффозии, изменении фильтрационных, прочностных и деформационных свойств, упрочнений и уплотнений грунтов во времени.

Первоначальное разуплотнение грунта после экскавации особенно велико в водонасыщенных песках, их плотность снижается в 1,20—1,29 раза, а также в текучих, текучепластичных супесях и суглинках (1,26—1,38). В грунтах малой влажности при разуплотнении плотность снижается в 1,07—1,16 раза.

Механическая суффозия проявляется в молодых насыпях при градиентах напора, наличии макропор и пустот. Лабораторные исследования в приборе Славянова показали, что вынос песчано-алевритовой фракции происходит даже при невысоких градиентах — 2,5—4,0 м. При этом, согласно результатам микроагрегатного анализа, содержание песчано-алевритовой фракции (0,1—0,01 мм) падает в течение 8—10 лет на 18—20%, что может привести к суффозионной осадке и уменьшению высоты балластного слоя. Особенно опасно это явление на склоновых участках, где велики градиенты напора.

Коэффициенты фильтрации грунтов, отсыпанных недавно (0,5—1,5 годах), характеризуются высокими значениями — 6—10 м/сут, однако со временем они снижаются. На заболоченных слабодренированных участках при весеннем снеготаянии и в дождливый период молодая насыпь превращается в местную дрену, при этом пески, слагающие обратную засыпку, водонасыщаются ($S_r=0,83—0,98$), а глинистые грунты переходят в текучее и текучепластичное состояние ($I_L=0,78—1,40$). Такие грунты имеют низкие прочностные свойства, что снижает их сопротивление перемещениям трубы и создает предпосылки к аварийным ситуациям.

Заболачивание территорий характерно для участков со старыми насыпями, имеющими низкие коэффициенты фильтрации (0,001—0,01 м/сут) и расположенные перпендикулярно потоку поверхностных вод.

Низкая водопрочность грунтов обратной засыпки обусловлена в основном низкой плотностью ($\rho_d=1,10—1,50$ г/см³) и слабым сцеплением ($C=0,0—0,002$ МПа). Результаты морфометрического обследования обратной засыпки показывают, что молодые активно растущие промоины характерны для насыпей возраста 0,5—2,5 года; в более старых насыпях процесс размыва затухает.

Лабораторное моделирование показало, что при нарушении структуры, особенно в водонасыщенных грунтах, сцепление, как правило, снижается от 0,012—0,018 МПа до 0,0—0,005 МПа; сжимаемость увеличивается (модуль осадки e_p достигает 77 мм/м) и грунт переходит в категорию сильносжимаемого. При влажности, близкой к максимальной молекулярной влагоемкости, сцепление снижается не так значительно (до 0,07 МПа), сжимаемость уменьшается для супесчаных грунтов ($e_p=13—22$ мм/м) и увеличивается для глинистых ($e_p=100—112$ мм/м). Угол внутреннего трения при нарушении структуры обводненных грунтов снижается на 5—8% и повышается при высыхании на 3—5%.

В отдельных случаях в связных грунтах при нарушении природных структурных связей увеличивается сцепление. Как правило, такое поведение характерно для грунтов с высоким содержанием алевритовой фракции (0,1—0,01 мм), достигающим 60—80%, присутствием в составе свободного реакционноспособного железа, алюминия, органических и органоминеральных коллоидов.

При проектировании магистральных трубопроводов следует учитывать возможные изменения состава и свойств грунтов в течение всего периода проведения инженерно-геологических изысканий и эксплуатации сооружения.

Интенсивность процессов, развивающихся в насыпном грунте, зависит от стадии формирования их свойств. Обычно можно выделить три стадии: 1) гравитационного уплотнения, которая завершается, как правило, для песчаных грунтов в течение 2,5—7 лет, для глинистых — в течение 6—10 лет, реже (при высоком содержании органических веществ в насыпи) процесс стабилизации плотности длится более 12 лет; 2) упрочнения насыпных грунтов за счет происходящих в них физико-химических процессов (продолжительностью более 12 лет); 3) стабилизации, когда свойства грунтов практически не меняются.

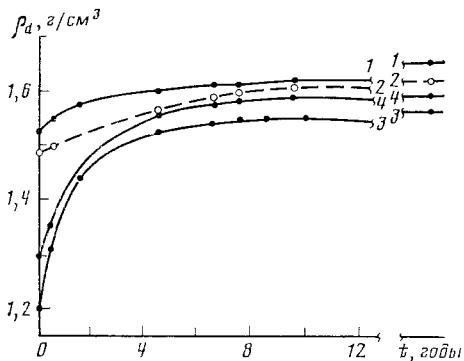


Рис. 1

Рис. 1. Изменения плотности песков во времени: 1 — II тип ($\rho_{dt}=1,65-e^{-0,16t}$); 2 — III тип, незаболоченные участки ($\rho_{dt}=1,62-0,14 e^{-0,23t}$); 3 — III тип, заболоченные участки ($\rho_{dt}=1,55-0,35 e^{-0,88t}$); 4 — IV тип ($\rho_{dt}=1,64-0,35 e^{-0,35t}$). Здесь и в др. рисунках: характеристику типов местности см. в таблице

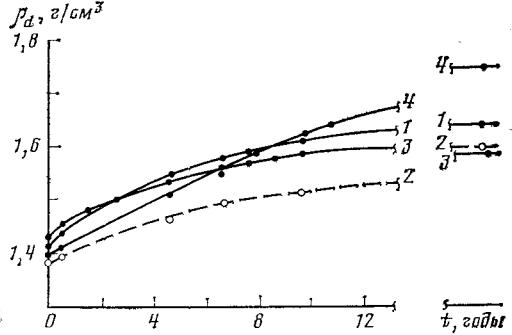


Рис. 2

Рис. 2. Изменение плотности связных грунтов во времени: 1 — II тип, супесь ($\rho_{dt}=1,64-0,22 e^{-0,20t}$); 2 — III тип, супесь ($\rho_{dt}=1,56-0,18 e^{-0,15t}$); 3 — IV тип, супесь ($\rho_{dt}=1,60-0,17 e^{-0,23t}$); 4 — IV тип, суглинок ($\rho_{dt}=1,76-0,36 e^{-0,11t}$)

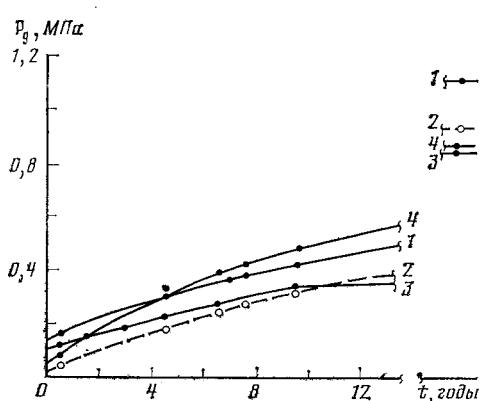


Рис. 3

Рис. 3. Изменение условного динамического сопротивления песков во времени: 1 — I тип ($P_{gt}=1,13-0,96 e^{-0,034t}$); 2 — III тип, незаболоченные участки ($P_{gt}=0,94-0,92 e^{-0,042t}$); 3 — III тип, заболоченные участки ($P_{gt}=0,85-0,75 e^{-0,034t}$); 4 — IV тип ($P_{gt}=0,86-0,81 e^{-0,08t}$)

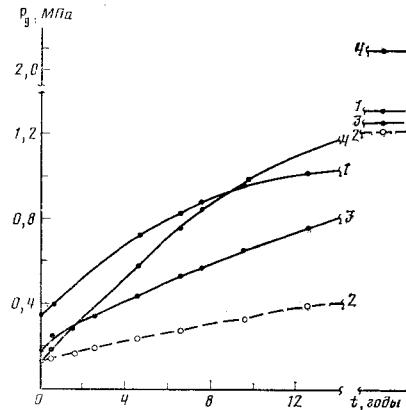


Рис. 4

Рис. 4. Изменение условного динамического сопротивления связных грунтов во времени: 1 — II тип, супесь ($P_{gt}=1,3-0,90 e^{-0,11t}$); 2 — III тип, супесь ($P_{gt}=1,2-1,06 e^{-0,02t}$); 3 — IV тип, супесь ($P_{gt}=1,2-1,03 e^{-0,06t}$); 4 — IV тип, суглинок ($P_{gt}=1,5-1,3 e^{-0,13t}$)

Изменение характеристик плотности или прочности грунта во времени подчиняется зависимости

$$\Pi_t = \Pi - \Pi \left(1 - \frac{1}{K_\Pi}\right) \exp(-nt),$$

где Π , Π_t — показатели плотности (ρ_d , g/cm^3) или прочности, оцененной по данным динамического зондирования соответственно: в природном залегании грунта и на момент времени t ; t — время от момента отсыпки в годах; K_Π — коэффициент, характеризующий изменение плотности (K_ρ) или прочности (K_p) на первоначальный момент времени после экскавации; n — коэффициент «интенсивности» процессов самоуплотнения.

ния и самоупрочнения, соответственно n_p и n_p , 1/год. Обобщенные графики изменения плотности и условного динамического сопротивления грунтов во времени показаны на рис. 1–4. Самоуплотнение насыпных песков происходит наиболее интенсивно на заболоченных участках поймы, где они водонасыщены ($S_r=0,81–0,90$): стабилизация плотности наступает в течение 2,5 лет. На заболоченных участках озерно-аллювиальной равнины процесс уплотнения водонасыщенных песков замедлен до 7 лет присутствием в насыпи включений торфа. Влажные и маловлажные пески на хорошо дренированных участках ($S_r=0,3–0,6$) уплотняются в течение 5–6 лет. Интенсивность процессов уплотнения и упрочнения снижается при отсыпке насыпи мерзлым, комковатым грунтом, включении в материал засыпки древесных остатков, большого количества торфяных грунтов, льда, снега.

Инженерно-геологическая типизация исследованной территории для строительства трубопроводов

Строительство магистральных трубопроводов сопровождается нарушением различных компонентов геологической среды, что в свою очередь оказывается на характере физико-геологических процессов и, как правило, активизирует их. Влияние действующего трубопровода на инженерно-геологическую обстановку территории проявляется следующим образом: 1) при наличии продольного уклона дна траншеи происходит, как правило, осушение полосы трассы, в связи с тем, что поверхностные воды устремляются в траншую как к местному базису эрозии; 2) на участках, где трубопровод препятствует поверхностному стоку, происходит заболачивание; 3) отсыпанный выше дневной поверхности грунтовый валик или сама труба способствуют накоплению снега при его ветровом перераспределении вблизи трубопровода, что приводит к дополнительному увлажнению поверхности; 4) ввиду нарушения растительного покрова, малой плотности и слабого сцепления насыпных грунтов в зоне строительства имеются все предпосылки для развития водно-эрзационных процессов; 5) формирование ореолов оттаивания в ледистых грунтах вокруг трубопровода сопровождается термо-

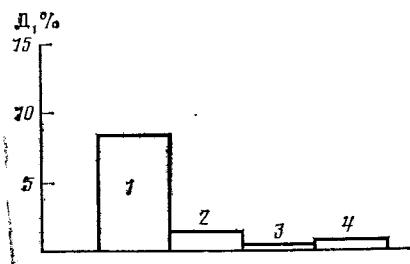


Рис. 5. Обнаженность труб газопровода по отдельным элементам рельефа в % от всей обследованной территории): 1 — заболоченная поверхность; 2 — пойма малого водотока; 3 — склон;

4 — незаболоченная поверхность

карстовыми просадками и обводнением территории.

На исследованной территории имеют широкое распространение заболачивание и водно-эрзационные процессы. Существенной активизации криогенных процессов в зоне строительства не наблюдается. Это позволяет предположить, что территория Надымской трассы относится к категории устойчивых в геокриологическом отношении.

Обратная засыпка подземных трубопроводов чутко реагирует на любое изменение геологической среды, и ее состояние может служить критерием устойчивости территории к техногенным нагрузкам. Дефекты, обнаруженные в обратных засыпках, могут быть вызваны эрозионным размывом грунтов обратной засыпки и снижением сопротивления переувлажненного грунта перемещениям трубы.

Наиболее активны процессы, вызывающие обнажение труб на заболоченных участках поймы, террас, равнин, а также на участках распространения многолетнемерзлых пород. На сухих, хорошо дренированных участках обратная засыпка практически не разрушается и слу-

Инженерно-геологическая типизация территории северотаежной зоны Западной Сибири для строительства магистральных трубопроводов

Тип местности	Геологический комплекс. Стратиграфический горизонт (индекс)	Литологический тип, характеристика плотности, влажности	Инженерно-геологические характеристики грунтов природного сложения				Коэффициенты, характеризующие изменение свойств грунтов при технологическом воздействии				Время стабилизации процессов саботажа (годы)
			ρ_d , г/см ³	C, МПа	Φ , град.	ϵ_p , мм/м	K_p	n_p	K_p	n_p	
I тип	Морские, прибрежно-морские, ледниково-морские отложения. Средний плейстоцен, салехардская свита (тп, гтп, грпII ²⁻⁴)	Суглинки полутвердые и твердые Пески мелкие, пылеватые, реже крупные с включением гравийно-галечного материала, средней плотности и рыхлые, влажные и мало-влажные	1,5—1,7 1,42—1,75	0,45—0,04 0,0—0,74	24—40 20—42	18—22 13—16	1,20 1,21	0,44 0,034	5,6 11,3	0,42 0,02	40 12
II тип	Озерно-аллювиальные отложения. Верхний плейстоцен, зырянский, каргинский и сартанский горизонты (ллIII, алIII, алIII ⁴)	Суслеси твердые, реже пластиничные Пески мелкие и пылеватые, влажные и мало-влажные, плотные и средней плотности	1,54—2,05 1,50—1,74	0,01—0,04 0,0—0,034	22—41 20—39	45—68 19	1,45 1,07	0,20 0,16	3,6 6,8	0,41 0,034	8,5 6
III тип	Аллювиальные отложения. Голоцен (а, IV)	Суслеси текущие Пески мелкие и пылеватые, влажные, рыхлые, реже средней плотности Пески мелкие и пылеватые, водонасыщенные, средней плотности и рыхлые	1,22—1,60 1,46—1,67	0,002—0,005 0,0—0,01	23—32 30—32	19—51 5—19	1,13 1,09	0,15 0,23	8,5 47	0,01 0,042	40 5
IV тип *	Комплексы I—III типа на участках распространения мерзлых грунтов	Суглинки мягко- и туго-пластичные Суслеси пластичные Пески мелкие и пылеватые, насыщенные водой, средней плотности и рыхлые	1,25—1,55 1,22—1,65 1,50—1,70	0,006—0,02 0,005—0,01 0,0—0,01	14—20 23—32 30—33	48—66 19—51 17—20	0,44 1,12 1,27	0,23 0,23 0,32	11,3 6,7 17,2	0,13 0,06 0,08	12 6 7

* Обратная засыпка представлена грунтом разного генезиса и возраста, реже грунтом, залегающим под слоем торфа.

жит полноценным материалом для балластировки трубопроводов (рис. 5). Наблюдается неуклонное увеличение протяженности обнаженных участков во времени. Исследования действующей трассы Надым – Пунга показывают, что наиболее интенсивный рост дефектов обратных засыпок происходит в первые 2,5 года их существования, т. е. тогда, когда составляющие их грунты недоуплотнены и обладают низкими прочностными свойствами. Далее процесс протекает медленнее и не представляет серьезной опасности.

На основе проведенных исследований с использованием литературных и фондовых источников была разработана инженерно-геологическая типизация территории северотаежной зоны Западной Сибири. Выделены участки со сходными инженерно-геологическими условиями (таблица), характеризующиеся развитием определенных техногенных процессов и, как следствие, типичными нарушениями земляных сооружений (обратной засыпки).

I и II типы местности – участки распространения талых морских (I тип), озерно-аллювиальных и аллювиальных (II тип) отложений с глубоким залеганием грунтовых вод, со спокойным равнинным или пологоволнистым рельефом. Такие участки, как правило, устойчивы к техногенным воздействиям. В редких случаях наблюдается оврагообразование при нарушении растительного покрова, сухофзия на склонах, разжижение пластичных супесей при динамическом воздействии.

III тип местности – участки распространения аллювиальных отложений поймы со спокойным равнинным рельефом. Основная часть пойменной территории заболочена. На таких участках траншея служит дреной и при размыве насыпи паводковыми водами или атмосферными осадками превращается в местный водоток. Помимо размыва характерно разжижение переувлажненных грунтов при динамическом воздействии. Анкерные крепления, имея в основании слабые грунты, как правило, не в состоянии обеспечить проектное положение труб. Этот тип местности неустойчив к техногенным нагрузкам за исключением прибрежной зоны поймы (2–3% от общей протяженности поймы).

IV тип местности – участки распространения мерзлых грунтов разного генезиса и возраста, перекрытых торфяниками. Прокладка трубопроводов на таких участках осуществляется главным образом полузауглубленным способом. Обваловка труб производится привозным песчаным грунтом, реже грунтом, взятым из траншеи на месте. Часто грунты обратной засыпки перемешаны с торфом, что замедляет процессы самоуплотнения насыпи. В результате нарушения поверхностных условий при строительстве и теплового воздействия газопровода на вмещающие породы образуется зона оттаивания, сложенная водонасыщенными грунтами. На таких участках распространены термокарстовые процессы, заболачивание, разжижение грунтов при динамическом воздействии, реже размывы, сухофзия. Переувлажненные грунты с низкими прочностными характеристиками имеют невысокую сопротивляемость продольным и поперечным перемещениям трубы, что приводит к многочисленным выходам труб на поверхность и их деформациям. IV тип местности является неустойчивым к техногенным нагрузкам.

Таким образом, наиболее благоприятными для строительства трубопроводов являются участки I и II типов, что необходимо учитывать при выборе оптимального направления трассы. При пересечении трубопроводом участков III и IV типа необходимо учитывать возможные неблагоприятные инженерно-геологические процессы, опасные как для сооружения, так и для геологической среды.

УДК 551.49 : 631.4

ЧЕТВЕРТКОВ С. С.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРУНТОВОГО ПОТОКА НА ОРОШАЕМЫХ МАССИВАХ ПОВОЛЖЬЯ

По величине естественного оттока подземных вод Поволжье относится к слабодренированной и бессточной территории [16]. С севера на юг ухудшается дренированность, возрастают засоленность и комплексность почвенного покрова, испаряемость (от 500 до 925 мм/год), оросительные нормы (от 1800 до 6800 м³/га) и снижается показатель увлажнения (от 1,15 до 0,12).

Низкая обеспеченность осадками, засушливый климат, высокое плодородие черноземов и темно-каштановых почв предопределили широкое развитие водной мелиорации в регионе. За последние 20 лет площадь орошения возросла с 0,2 до 1,2 млн. га. Ввиду несовершенства гидромелиоративных систем и недостаточно высокой культуры орошаемого земледелия отмечаются значительные фильтрационные потери оросительных вод. На оросительных системах с закрытой водоразводящей сетью под широкозахватными дождевальными машинами грунтовые воды поднимаются со скоростью 0,5—0,8 м/год; на участках, поливаемых ДДА-100М из открытых временных оросителей,— до 1,5 м/год, а на участках понижений рельефа, периодически заполняемых сбросными водами,— до 3—4 м/год. При подъеме уровня грунтовых вод (УГВ) ухудшается качество подземных вод за счет растворения солей в грунтах, а это усложняет проблемы вторичного использования и утилизации [23]. По сравнению с 1982 г. в 1986 г. площади земель с УГВ до 3 м возросли с 160 до 283 тыс. га, а с УГВ 3—5 м — с 84 до 182 тыс. га. На 170 тыс. га сложилась неудовлетворительная и на 203 тыс. га — удовлетворительная мелиоративная обстановка. Это означает, что при жизни одного поколения выходят из строя плодороднейшие земли.

На текущий момент гидрогеологическая сущность негативных явлений на орошаемых массивах раскрыта недостаточно. Формирование режима грунтовых вод определяется через различные соотношения приходных и расходных статей водного баланса в зависимости от естественной дренированности [7, 10]. Элементы водного баланса и гидродинамические параметры рассчитываются по закону линейной фильтрации с введением поправок на пестроту вещественного состава, многослойность, проницаемость и уклоны грунтового потока [2, 3].

Регулировать режим предлагается путем воздействия на процессы питания грунтовых вод, на увеличение коэффициента полезного действия оросительных систем, на разработку оптимального режима орошения и норм водопотребления и водоотведения. Акцентируется внимание на точность прогноза подъема грунтовых вод до критического уровня (1,2—3,0 м), при достижении которого требуется строительство систематического дренажа [6]. Срок субкритического периода бездренажного орошения при близком к поверхности залегании грунтовых вод (вначале пресных, затем слабо- и среднеминерализованных) оценивается для черноземной зоны в 10—12 лет, а темно-каштановой — 5—10 лет [5]. Высказывается и компромиссное мнение: грунтовые воды следует поддерживать вертикальным дренажом на глубине 8—10 м, при которой сохраняется автоморфный режим почвообразования и не теряется плодородие почв [13]. При обосновании локальных фильтрационных схем рас-

сматривается структура фильтрационного потока непосредственно в зоне влияния дренажа, а оценка значимости неравномерности инфильтрационного питания (во времени и пространстве) проводится с учетом региональных закономерностей формирования, развития и разгрузки подземных вод, параметры которых, однако, не участвуют в расчетных формулках.

Указанная гидрогеологическая концепция исходит из фатальной неизбежности подъема грунтовых вод на орошаемых землях (что диалектически неверно); она предлагает мелиораторам ждать точно рассчитанного момента достижения грунтовыми водами допустимого уровня с тем, чтобы систематическим дренажом поддерживать благоприятный водно-солевой режим в корнеобитаемом слое. При такой практике, по опыту мелиорации земель в различных зонах страны, подъем уровня грунтовых вод неизбежно приводит к засолению земель и выводу их из сельскохозяйственного оборота. Последующая промывка земель на фоне дренажа дорога и вызывает еще большие осложнения гидрогеологических условий, поскольку оросительные нормы увеличиваются в 5—10 раз.

Поддерживать УГВ дренажом — обычная инженерная задача, а не научное управление водно-солевым режимом орошаемых земель, как это стремятся представить сторонники этой теории. Дренаж — это вынужденная мера для районов со стабильно установившимся близповерхностным залеганием грунтовых вод. Это «мелиоративный хирург», способный улучшить, а не восстановить естественное плодородие почв.

Сравнение современного гидрогеолого-мелиоративного состояния орошаемых земель Поволжья с ранее проведенными прогнозами на базе этой гидрогеологической концепции показало удовлетворительную точность определения средней по массиву орошения скорости подъема УГВ и недостоверность выделения площадей с различной глубиной залегания грунтовых вод. Это свидетельствует не только о недостаточной теоретической базе проектирования, но и о значительных отклонениях от проектных решений при эксплуатации оросительных систем.

С позиций данной теории невозможно выяснить сущность рационального использования земельных ресурсов при инженерной деятельности человека, так как основные компоненты геологической среды (горные породы, подземные воды и почвы) воспринимаются метафизически, а не как материальные объекты, диалектически развивающиеся. Изложенное означает, что для снижения отрицательного влияния орошения необходимо познать процессы взаимодействия основных компонентов геологической среды с различными водо- и сельскохозяйственными сооружениями.

Многолетние гидрогеолого-мелиоративные исследования автора в Средней Азии и Поволжье позволили установить, что питание грунтовых вод происходит неравномерно даже в пределах генетически однородных элементов рельефа и приурочено главным образом к геологически сложившимся структурно-фациальным зонам, в которых существуют наиболее благоприятные условия соединения поверхностного стока с подземным [20].

Локальные зоны питания, являясь непременным условием жизни потока грунтовых вод, обеспечивают формирование и развитие первого от поверхности водоносного горизонта [21]. Они сложены сравнительно проницаемыми породами, что обусловлено либо литологическим составом, либо текстурно-структурным сложением осадков (диагональная и косая слоистость, линейная и сквозная пористость, трещиноватость и проч.). В рельефе природные зоны питания выражены кустообразным слиянием многочисленных ложбин стока, мелкими замкнутыми понижениями, аномально высокими значениями плотности гидросети и коэффициентов эрозионного вреза. Им соответствуют центробежный или радиальный план гидросети, спрямленные участки долин, быстрое нарастание порядка долин, относительное уменьшение ширины долин высоких порядков,

наличие глубоко врезанных меандр с крутыми угловатыми поворотами, выпуклый поперечный профиль долин и водораздельных пространств [19].

Наиболее четко природные зоны питания выделяются по анализу эрозионного расчленения рельефа, выраженного в показателях плотности гидросети (ρ_r), особенно на участках, где уровень грунтовых вод не вскрыт эрозионным врезом. ρ_r определяется как отношение произведения количества долин (n) расчетного порядка по дихотомической классификации на их суммарную длину (L) к площади палетки (S):

$$\rho_r = \frac{n \cdot L}{S}. \quad (1)$$

Иначе ρ_r представляет увеличенное по площади палетки произведение частоты гидросети на ее густоту. Частота гидросети (отношение числа долин к единице площади) несет информацию об интенсивности новейших тектонических движений; густота (суммарная длина долин в единице площади) — о размерах зон тектонической активизации; порядок долин — об относительном времени проявления движений.

За долину первого порядка принимается неразветвленная ложбина стока. От слияния двух долин первого порядка образуется долина второго порядка, а двух долин второго порядка — долина третьего порядка и так далее. Впадение рек низкого порядка в реки высоких порядков не изменяет порядка основных долин. В. П. Философовым и В. Ф. Филатовым, А. П. Дедковым установлена устойчивая связь между порядком долин и количеством эрозионных уровней для Саратовского Заволжья и Приволжской возвышенности [4, 17]. В долинах первого и второго порядков (по среднемасштабной топооснове) картируются позднечетвертичные отложения; в долинах третьего порядка — преимущественно среднечетвертичные и в долинах четвертого и пятого порядков — плиоценовые отложения.

Н. А. Ржаницын установил, что с возрастанием порядка долин увеличиваются площадь водосбора, расход воды и длина речного потока [14]. М. А. Мельтон [9] путем регрессионного анализа выявил зависимость между модулем поверхностного стока (q) и густотой гидросети (L):

$$L = 0,694 q^2. \quad (2)$$

Подставляя значение L в формулу (1), получаем

$$\rho_r = \frac{0,694 q^2 n}{S}. \quad (3)$$

Из указанных зависимостей вытекает, что суммарная длина гидросети, а также площадь замкнутых микропонижений в рельефе определяют величину аккумулированного поверхностного стока, а перераспределение влаги после окончания впитывания (инфилтратия) зависит от степени «трещиноватости» отложений зоны аэрации, выраженной в количестве долин. Там, где пучком сходятся и соединяются с горизонтом подземных вод фильтрационные каналы, образуются водовмещающие структуры, являющиеся зонами аккумуляции инфильтрационных вод.

На основе сопоставления карт порядковой плотности гидросети с геологической, геоморфологической, неотектонической, структурной, гидро-геологической, литолого-фациальной картами установлено, что природные зоны питания грунтовых вод совпадают с зонами новейшей активизации, поскольку при рельефообразующих тектонических движениях вследствие растяжения земной коры увеличивается ее проницаемость и создаются благоприятные условия миграции подземных вод. Последнее подтверждается повышением водопроводимости и дебита скважин в зо-

нах питания; снижением минерализации подземных вод и засоления под зоны аэрации.

В природных зонах питания водоносные горизонты, как правило, гидравлически связаны. Эта связь осуществляется за счет роста трещиноватости горных пород в зонах новейшей тектонической активизации. Вдоль трещин происходит нередко рыхление практически водонепроницаемых отложений зоны аэрации, которое визуально не выражено, но наличие этого явления подтверждается, кроме отмеченного также фактом глубокого (до 6 м за сезон) промачивания орошаемых сыртовых глин, отличающихся низкими фильтрационными свойствами (0,007—0,04 м/сут).

В естественных условиях питание грунтовых вод происходит через указанные геологически сложившиеся зоны в два периода: весной — за счет снеготаяния и осенью — за счет дождевых вод. В период активных температур в лесостепной зоне Поволжья выпадает 280 мм, степной — 270—240 мм, сухостепной — 170 мм и полупустынной — менее 150 мм осадков. Среднемноголетний коэффициент подземного стока в долине Волги составляет 3—5% от осадков, в Сыртовом Заволжье — менее 2%, в Прикаспийской низменности — менее 1%. На участках природных зон питания формируются небольшие и кратковременные гидрокупола, так как период их образования несоизмеримо меньше периода спада. Поэтому гидрокупола успевают растекаться и не оказывают существенного влияния на гидродинамический режим.

При орошении время и интенсивность питания грунтовых вод значительно увеличиваются. Гидрокупола как под природными, так и искусственными зонами питания растекаются неполностью. Возникает мозаичная гидрокупольная структура грунтового потока, которая приводит к тому, что инфильтрационные потери и приток со стороны аккумулируются и перераспределяются внутри орошаемого массива. Это подтверждается натурными наблюдениями за режимом подземных вод долины Волги и фильтрационными расчетами по оценке влияния выборочного орошения на интенсивность подъема грунтовых вод.

Подземные воды левобережных террас Волги пресные, гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-сульфатного (хлоридного) состава. Грунтовые воды безнапорные, уклоны гидрорельефа хвалыно — хазарского горизонта — 0,03—0,0008, бакинского — 0,0013—0,003. Водопроводимость водоносного горизонта средне-верхнечетвертичных аллювиальных отложений — 20—800 м²/сут и снижается в зоне сочленения с Сыртвой равниной и долинами степных рек до 10—50 м²/сут. Дебиты разведочных скважин 1—5 л/с, дренажно-оросительных — 30—40 л/с (при понижении уровня на 4—5 м). Амплитуда сезонных колебаний УГВ — 0,3—0,8 м [8]. При орошении земель в долине Волги на питание грунтовых вод расходуется (за год в тыс. м³/га) при поливах ДДА-100М 2—3, «Фрегатом» — 1,1—1,2, «Волжанкой» 2,2—2,3; при этом грунтовые воды поднимаются в среднем соответственно (м/год): 2,1—2,3; 0,5—0,9; 1,0—1,2. Основная доля инфильтрации приходится на потери из ирригационной сети и потери, вызванные низким уровнем эксплуатации оросительных систем. Суммарные потери на фильтрацию из всех видов каналов Энгельсской оросительной системы составляют 500—2100 м³/га. За счет фильтрации воды из микропонижений в рельфе на орошаемых полях без планировки в грунтовые воды поступает ежегодно 1050 м³/га, а на выровненных полях — 410 м³/га. Величина потерь на полях от суммы водоподачи и осадков (коэффициент инфильтрации) составляет 0,07—0,11 [18]. Значительно пополняют водоносный горизонт сбросные воды, которые обычно аккумулируются в пределах орошаемого массива и достигают 7—16% от объема водозабора [25].

Как и в естественных условиях, максимальные значения скорости подъема и амплитуд колебаний УГВ приурочены к геологически сложившимся зонам питания и по разрезу тяготеют к породам с малой свобод-

ной емкостью. При пересечении магистральными каналами природных зон питания ширина гидровала с близким залеганием грунтовых вод соизмерна с шириной данной зоны; при пересечении каналом зон разгрузки радиус его влияния ограничен 50—100 м в пределах Сыртовой равнины и 300—500 м — в долине Волги [21]. Исходя из этой закономерности для объективной оценки влияния техники полива на режим грунтовых вод на Энгельском орошающем массиве по картам порядковой плотности гидросети выделены зоны питания и разгрузки; в пределах их рассмотрены орошаемые поля, находящиеся на приканальном (до 500 м) участке и вне влияния магистральных каналов. Фактические данные режимных наблюдений раздельно по группе зон питания и зон разгрузки наносились на прямоугольную систему координат; по оси ординат откладывались среднегодовые глубины залегания УГВ, а по оси абсцисс — соответствующие амплитуды сезонных колебаний, либо скорость подъема УГВ. Экстремальная линия проводилась по максимальным значениям; она отражает равновесное состояние предельных показателей режима грунтовых вод и природно-хозяйственной среды. Средневзвешенные максимальные за многолетние наблюдения амплитуды сезонных колебаний и скорость подъема уровня грунтовых вод при орошении дождевальными агрегатами ДДА-100М природных зон питания, находящихся вне влияния магистральных каналов, составили соответственно 4 м и 2 м/год; зон разгрузки — 2,1 м и 1,6 м/год; зон разгрузки в пределах влияния каналов — 3 м и 1,7 м/год. При поливах широкозахватными машинами («Фрегат» и «Волжанка») природных зон питания, расположенных за 500 м от каналов, указанные гидродинамические параметры составили 2,2 м и 1,4 м/год [22]. На участках зон питания, расположенных вне влияния канала и орошаемых ДДА-100М, амплитуды сезонных колебаний на 80%, а скорость подъема УГВ на 40% выше, чем при поливах таких же зон «Фрегатом», и соответственно на 90, 20% выше, когда ДДА-100М орошают земли зон разгрузки. За 500-метровой приканальной полосой амплитуды сезонных колебаний в зонах питания на 60%, а в зонах разгрузки на 40% меньше, чем в аналогичных зонах, но пересекаемых каналом.

При среднегодовом залегании УГВ не более 2 м в зонах питания отмечается выход грунтовых вод на поверхность и заболачивание (участок совхоза «Новый» площадью ~0,8 тыс. га), в то время как в зонах разгрузки они не достигают дневной поверхности на 0,5—0,8 м. Наивысшее стояние УГВ наступает неодновременно: в зонах питания — в августе—сентябре, в зонах транзита — сентябрь—октябрь и в зонах разгрузки — октябрь — ноябрь. При этом минимум УГВ устанавливается одновременно в марте — апреле.

Магистральный канал первой очереди Энгельской системы (МК-1) заложен поперек грунтовому потоку. На 5—6 год под МК-1 сформировался гидровал. Скорость подъема УГВ на вышерасположенной второй очереди системы из-за подпора этим гидровалом достигала 3—4 м/год. В связи с нисходящими токами влаги в природных зонах питания грунты и подземные воды опреснены. За 18-летний период орошения в зонах активного водообмена минерализация грунтовых вод возросла незначительно (с 0,4 до 1,0 г/л), в то время как в локальных зонах разгрузки за счет восходящих движений влаги и растворения солей в верхней глинистой части разреза, — до 24 г/л (рис. 1).

Ввиду недостаточных водно-балансовых данных соотношения годовых амплитуд и скоростей подъема УГВ по зонам питания и разгрузки, поливаемым ДДА-100М, «Фрегатом» принимаются за соотношения инфильтрационных потерь. Инфильтрационные потери на землях природных зон питания, орошаемых «Фрегатом», и на землях зон разгрузки, поливаемых ДДА-100М, практически однозначны; на участках, расположенных вне влияния магистральных каналов, инфильтрационные потери

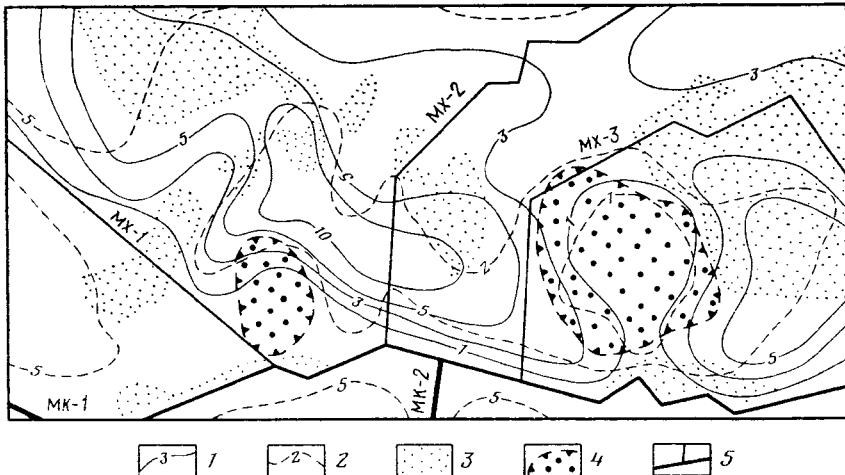


Рис. 1. Схема размещения природных зон питания грунтовых вод на Энгельсском орошающем массиве: 1 — изолинии минерализации грунтовых вод в верхней глинистой толще III—IV надпойменных террас долины Волги, г/л; 2 — глубина залегания грунтовых вод на 1.XI.83 г., м; 3 — засоленные земли; 4 — природные зоны питания; 5 — магистральные (МК) и межхозяйственные (МХ) каналы

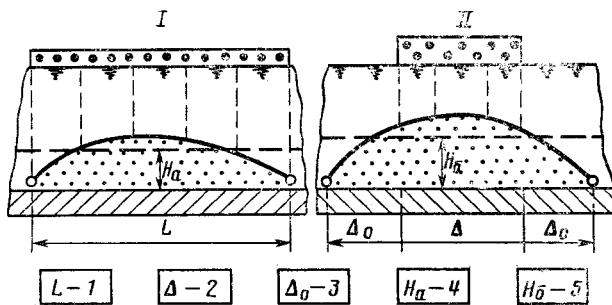


Рис. 2. Расположение уровня грунтовых вод над водоупором при равномерном (I) и неравномерном (II) питании грунтовых вод: 1 — расстояние между дренами; 2 — зона питания; 3 — непитаемая зона; 4 — величины среднего подъема для равномерного питания; 5 — то же, для сопредоточенного питания грунтовых вод

в природных зонах питания при поливах ДДА-100М на 40% выше, чем при поливах «Фрегатом» или «Волжанкой» [22].

Примечательно, что коэффициент водоотдачи легких грунтов зон питания на 20—40% (а в отдельных случаях в 2—4 раза) выше, чем глинистых отложений зон разгрузки. Тем не менее, амплитуда сезонных колебаний в геологически сложившихся зонах питания в 2 раза, а скорость подъема УГВ — на 25% больше, чем в зонах истечения гидрокуполов. Скорость подъема УГВ рассчитывается по формуле

$$t = \frac{\mu \Delta h}{\Delta V} = \frac{E}{\Delta V}, \quad (4)$$

где t — время водонасыщения расчетного слоя, сут.; μ — недостаток насыщения пород зоны аэрации, доли единицы; Δh — мощность слоев зоны аэрации от современного уровня до критического, м; E — свободная емкость грунтов. Из формулы (4) и вышеизложенного следует, что при подъеме УГВ на одинаковую высоту, на инфильтрацию в природных зонах питания расходуется в 2—5 раз больше поверхностных вод, чем в зонах разгрузки. Данная формула правомочна для структурно гомоген-

ных сред, т. е. без учета неравномерности питания грунтовых вод достоверные прогнозы подъема УГВ практически невозможны. Эти теоретические воззрения на формирование режима грунтовых вод орошаемых массивов укладываются в рамки существующих фильтрационных расчетов [24].

Искомое распределение уровней (H_i) при установившемся движении вод (рис. 2) описывается решением системы уравнений:

$$KH_i \frac{dH_i}{dx} + \int_0^x \omega(x) dx = A_i, \quad i=1, 2, 3 \dots, \quad (5)$$

где K — коэффициент фильтрации, м/сут; $\omega(x)$ — водоподача, $\text{м}^3/\text{га}$; $A_i = \text{const}$ при $H(0) = 0$ и $A(L) = 0$.

При равномерном поливе полосы шириной L средняя величина подъема уровня грунтовых вод за счет фильтрационных потерь принимается за 1 и рассчитывается по формуле 6

$$H_a = L \sqrt{\frac{\omega_0}{k}} \cdot \frac{\pi}{8} \quad (6)$$

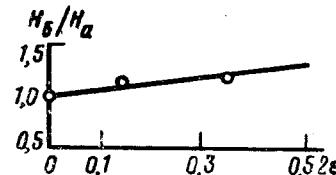
Для случаев, когда поливается одним и тем же объемом водоподачи $\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$ части орошающей площади, средний УГВ определяется из решения уравнения:

$$H_b = L \sqrt{\frac{\omega_0}{k}} \left\{ \frac{h}{3} \varepsilon V \sqrt{1-2\varepsilon} + \frac{1-4\varepsilon^2}{4} \left[\arcsin \frac{\Delta}{2\alpha} + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\Delta}{2\alpha} \sqrt{1-\left(\frac{\Delta}{2\alpha}\right)^2} \right] \right\}, \quad (7)$$

где $\varepsilon = \Delta_0/L$; $\alpha = L/2\sqrt{1+4\varepsilon^2}$; $2\Delta_0$ — ширина неполиваемой полосы; Δ — ширина поливаемой полосы.

Наличие неравномерности питания всегда обусловливает неравенство $H_b > H_a$. При уменьшении поливаемой (инфильтрационной) полосы и постоянстве питания, величина среднего подъема грунтовых вод при $\varepsilon = \frac{1}{14}$ возрастает на 9%, а при $\varepsilon = \frac{1}{8}$ — на 14% (рис. 3).

Рис. 3. Зависимость приращения уровня грунтовых вод от степени равномерности их питания при одномерном установившемся фильтрационном течении: $\varepsilon = \Delta_0/L$; H_a , H_b см.
рис. 2



Для неустановившегося движения расчеты приращения уровня грунтовых вод проведены по формуле С. Ф. Аверьянова [1]. Для внутренней области фильтрационного потока среднее значение выражения $\Delta H \cdot \mu/\omega t$ при равномерном питании составило 0,584; при поливах на 75% площади — 0,652; на 50% — 0,753; на 25% — 0,812; на 10% — 0,831. Для внешней области доля заполнения водой свободного порового пространства не превышала 0,470. Отсюда найдено соотношение средних приращений УГВ при различных степенях сосредоточенности питания: $H(1) : H(0,75) : H(0,5) : H(0,25) : H(0,10) = 1,00 : 1,06 : 1,16 : 1,22 : 1,23$.

В целом в условиях установившегося и неустановившегося движения средний по орошаемому участку подъем уровня грунтовых вод от одного и того же удельного объема инфильтрации при сосредоточенном питании на 10—23% выше, чем при равномерном питании, что согласуется с вышеприведенными данными натурных наблюдений. Влияние неравномерности питания на высоту подъема УГВ существенно сказывается (по

расчетам) в том случае, когда локальные зоны естественного и искусственного питания грунтовых вод занимают более 10% площади орошающего участка.

Выводы и практические рекомендации

Таким образом, установлена объективно существующая закономерность формирования режима грунтовых вод, заключающаяся в устойчивой связи между явлением (повсеместным подъемом грунтовых вод на орошаемых массивах) и таким свойством зоны активного водообмена как рассредоточенно-неравномерное питание через геологически сложившиеся зоны соединения поверхностного стока с подземным. Величина инфильтрационных потерь определяется степенью совершенства оросительной системы и качеством ее эксплуатации. Пространственное распределение потерь предопределяется факторами природного порядка, т. е. локальными геологически сложившимися зонами питания и разгрузки грунтовых вод.

На базе предлагаемой гидрогеолого-мелиоративной концепции представляется возможным поддерживать грунтовые воды на изначальной (до орошения) глубине залегания избирательным и рассредоточенным по геологически сложившимся зонам питания вертикальным дренажом с производительностью, равной инфильтрационным потерям. При глубине залегания УГВ до 3 м, когда происходит интенсивное испарение и превалируют техногенные режимообразующие факторы, эффект целенаправленного рассредоточенного дренажа снижается.

Чтобы избежать засоления корнеобитаемого слоя при эксплуатации участка горизонтального дренажа необходимо в процессе гидрогеологических изысканий выделить и оконтурить локальные геологически сложившиеся зоны питания грунтовых вод, определить степень неравномерности питания и с графика (рис. 3) снять поправку на рассчитанную для равномерного питания величину подъема УГВ.

На староорошаемых землях, подлежащих реконструкции, необходимо улучшить гидродинамические условия путем выравнивания поверхности гидрорельефа: 1) предусмотреть противофильтрационные мероприятия на действующей ирригационной сети, а новые каналы закладывать по падению грунтового потока в природных зонах разгрузки; 2) построить дренаж на участках, где грунтовые воды достигнут критического уровня к моменту завершения строительства; 3) «Фрегаты» и «Волжанки» размещать на полях природных зон питания, а ДДА-100М — на полях природных зон разгрузки. На приканальном участке размещать ДДА-100М нецелесообразно.

Предварительные сведения о структуре грунтового потока орошаемого массива, получаемые при гидрогеологической интерпретации карт порядковой плотности гидросети, позволяют оптимально размещать разведочную и режимно-наблюдательную сеть скважин, что повышает качество изысканий и кадастра мелиоративного состояния орошаемых земель. Скважины региональной наблюдательной сети целесообразно размещать на основе карт средне-крупномасштабного гидрогеолого-мелиоративного районирования с учетом ирригационных и гидротехнических сооружений по одной в каждой зоне природного питания и разгрузки, выделяемых по картам полипорядковой плотности гидросети масштаба 1:200 000 — 1:500 000. Сеть опорных скважин службы Минводхоза СССР следует размещать створами, пересекающими природные гидродинамические зоны, магистральные каналы и горизонтальные дрены — в пределах севооборотных массивов. В этом случае естественные зоны питания и разгрузки выделяются путем анализа карт плотностей гидросети масштаба 1:50 000. Расстояние между створами опорной сети принимать как нормативные расстояния между опорными геофизическими профилиями для территорий первой категории сложности — 6—7 км, второй — 4,5—5,5 и

третий — 3—4 км; расстояние в створе в пределах 1—2 км, но не менее трех точек по каждой гидродинамической зоне [11]. Внутрихозяйственная сеть наблюдательных скважин и динамических площадок является основой для достоверного выделения категорий земель по мелиоративному состоянию и обоснованию мелиоративных мероприятий. Выделение границ с различным мелиоративным состоянием должно удовлетворять кондициям составляемых карт гидроизогипс и глубин залегания, минерализации и химсостава грунтовых вод, засоления почв масштаба 1 : 25 000 (1 : 10 000). Общее количество точек наблюдений для первой категории сложности должно составлять 3,84; второй — 7 и третьей — 9,3 точки на 1 км² [15]. Границы категорий земель по мелиоративному состоянию должны либо наблюдаваться непосредственно при визуальном обследовании орошаемого поля, или находиться между двумя скважинами, удаленными друг от друга не более чем на 200 м [12]. На участках с глубинами залегания УГВ до 3—5 м рекомендуется проводить разовое (после вегетации) бурение скважин глубиной 5 м; в вегетационный период ограничиться визуальными обследованиями.

При глубине залегания грунтовых вод 5—10 м внутрихозяйственная сеть наблюдательных скважин должна состоять из кустовых пьезометров с динамическими площадками, размещенных по наиболее характерным зонам питания и разгрузки, а также картировочных скважин глубиной 10 м. В каждой зоне питания и разгрузки грунтовых вод необходимо складывать по три скважины; общее количество точек наблюдения должно составлять не более одной — двух скважин на 100 га [10]. При глубоком (более 10 м) залегании грунтовых вод влияние гидрогеологического фактора на мелиоративное состояние земель резко снижается и возрастает роль почвенных процессов. В этом случае, по-видимому, следует ограничиться региональной и опорной наблюдательной сетью скважин, а изменения в почвенном профиле оценивать по динамическим площадкам. На каждую почвенную разность заложить по одной площадке в пределах природных зон питания и разгрузки вод.

Итак, водная мелиорация будет проводиться без ущерба геологической среде в том случае, когда учитывается структура грунтового потока и его реакция на инженерную деятельность человека.

Прогноз уровня грунтовых вод должен складываться из выделения гидродинамических зон, определения по ним гидрогеологических параметров, оценки режимообразующих факторов и гидрофизических свойств грунтов зоны аэрации, расчетов сроков подъема УГВ до критической глубины и разработка рекомендаций по регулированию водно-солевого баланса изучаемых массивов орошения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С. Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. М.: Колос, 1978. С. 24—276.
2. Арье А. Г. Физические основы фильтрации подземных вод. М.: Недра, 1984. С. 71—95.
3. Бочевер Б. М., Гормонов И. В., Лебедев А. В., Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов. М.: Недра, 1969. 366 с.
4. Дедков А. П. О связи порядка и возраста речных долин//Вопросы морфометрии. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. Вып. 2. 1967. С. 75—82.
5. Егоров В. В., Зимовец Б. А. Ирригационно-гидроморфное соленакопление в черноземных и каштановых почвах//Бюлл. Почвенного ин-та. Вып. 15. 1977. С. 10—18.
6. Инструкция по проектированию оросительных систем. Дренаж на орошаемых землях. М.: Минводхоз СССР. Ч. 8. 1975. 275 с.
7. Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М.: Колос, 1976. С. 5—49, 204—241.
8. Костин Б. И., Четвериков С. С. Водные ресурсы Саратовского Заволжья//Степные просторы. 1985. № 10. С. 33—35.
9. Мельтон М. А. Геометрические свойства природных дренажных систем и их представление в Е₄ фазовом пространстве//Статистический анализ в геологических науках. М.: Мир, 1965. С. 287—291.

10. Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель. М.: ВНИИГиМ, 1982. С. 5—62.
11. Методическое руководство по обоснованию и комплексированию современных методов исследований при гидрогеологической съемке масштаба 1 : 50000 для целей мелиорации. М.: Недра, Вып. 4. 1979. С. 8—74.
12. Основные положения организации и производства геологосъемочных работ масштаба 1 : 50000 (1 : 25000). М.: Недра, 1968. 55 с.
13. Решеткина Н. М., Якубов Х. И. Вертикальный дренаж. М.: Колос, 1978. 319 с.
14. Ржаницын Н. А. Морфометрические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. С. 22.
15. Сборник цен на проектные и изыскательские работы для строительства. М.: Изд-во лит. по строительству. Ч. 1. 1967. С. 229—230.
17. Философов В. П., Филатов В. Ф. Связь порядков долин и водоразделов с их геологическим возрастом на территории Саратовского Заволжья//Вопросы морфометрии. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1967. Вып. 2. С. 67—75.
18. Фишман М. Я., Шевцова Р. Ф. Влияние рельефа на мелиоративное состояние орошаемых земель//Степные просторы, 1980. № 8. С. 29—30.
19. Четвертков С. С. Карты порядковой плотности гидросети Южной Якутии// Тектоника Сибири. М.: Наука, 1973. Т. 6. С. 43—49.
20. Четвертков С. С. Естественные регуляторы режима грунтовых вод//Степные просторы, 1980. № 8. С. 28—29.
21. Четвертков С. С. Рекомендации по применению метода порядковой плотности гидросети при гидрогеологических изысканиях и прогнозах. Саратов, Препринт обл. правления НТО стройиндустрии, 1982. С. 33.
22. Четвертков С. С. Сезонный режим грунтовых вод на Энгельсском орошаемом массиве//Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1982. Сер. 1. Вып. 4. С. 3—9.
23. Четвертков С. С. Мелиоративное состояние земель вызывает тревогу//Степные просторы, 1984. № 1. С. 36.
24. Четвертков С. С., Дворкин Л. Б., Фишман М. Я. Гидрогеолого-мелиоративная основа оценки и снижения отрицательных последствий орошения//Методика инженерных изысканий для мелиоративного строительства в аридной зоне. Душанбе: Дошиш, 1983. С. 158—159.
25. Шувалов А. Н., Бурлаков А. А. Результаты исследований элементов водного баланса на участках полива «Фрегатом», «Волжанкой» и ДДА/100М//Мелиоративный прогноз и мероприятия по предупреждению засоления орошаемых земель в Заволжье. М.: ВНИИГиМ. Вып. 2. 1975. С. 54—65.

Волжский научно-исследовательский
институт гидротехники и мелиорации

Поступила в редакцию
4.VII.1986

УДК 624.131

ОРЛОВ Я. М., АЛАДЬЕВ Л. Л., ТЕКУЧЕВА З. Н.

УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ОБВОДНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК В РАЙОНЕ ГОРНЫХ ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА

В соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-81, в материалах инженерно-геологических изысканий следует давать прогноз возможного подтопления строительных площадок подземными водами в период застройки и эксплуатации зданий и сооружений. Это особенно необходимо для застраиваемых площадок, сложенных слабофильтрующими глинистыми макропористыми породами, в которых процессы подтопления развиваются особенно часто.

Прогноз подтопления подземными водами застраиваемых территорий представляет трудную задачу в связи с разнообразием естественных и искусственных факторов, влияющих на подъем уровня подземных вод при обводнении, особенно при прогнозировании подтопления площадок, расположенных в районах горных подработок. В этом случае наряду с общезвестными факторами подтопления приходится учитывать влияние горных выработок (выполняемых на осваиваемой территории или вблизи нее) на водоносный горизонт, содержащийся в сжимаемой толще пород основания, или на его образование на застраиваемой площадке. При определенных геологических условиях влияние горных работ может выражаться в осушении значительных площадей при откачке шахтных вод из подземных горных выработок. При этом дrenирование верхних горизонтов подземных вод может идти как через многочисленные трещины различного происхождения, содержащиеся в угленосных породах, так и непосредственно через зоны тектонических нарушений, вскрываемых подземными горными выработками при их проходке. Через такие зоны, расположенные под толщей перекрывающих их более молодых осадков, и характеризующиеся повышенной трещиноватостью пород, длительный водоотлив из подземных горных выработок и шахтных стволов может оказывать существенное влияние на осушение вышележащих водоносных горизонтов, в том числе и на горизонт подземных вод в зоне заложения фундаментов зданий и сооружений.

Факты дренирования подземных вод горными выработками угольных шахт в районе Донбасса общезвестны. Однако практика строительства и эксплуатации зданий и сооружений на подрабатываемых территориях изобилует примерами иного рода. Несмотря на широкое ведение горных работ, сопровождающихся многолетней откачкой шахтных вод, целый ряд промплощадок шахт, машиностроительных заводов и кварталов жилой застройки городов Гуково, Новошахтинска и Шахты Ростовской области (Восточный Донбасс) (рис. 1), расположенных на подрабатываемых территориях, страдает от самоподтопления подземными водами. При этом в целом ряде случаев подземные воды, сформировавшиеся в лёссовидных суглинках четвертичного возраста, залегают вблизи поверхности земли в зоне заложения подземной части зданий и сооружений. В связи с этим в последние годы для обеспече-

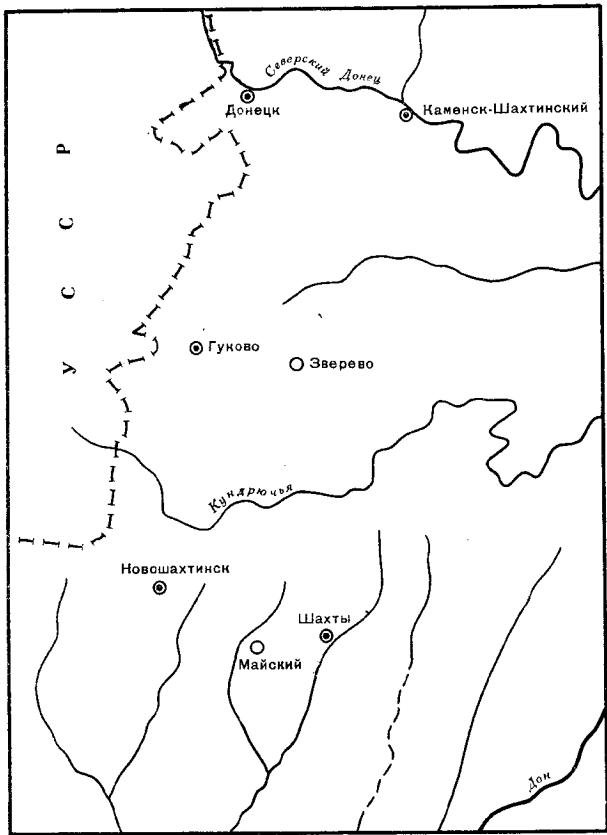


Рис. 1. Схематическая карта района обобщений

ния нормальной эксплуатации зданий и сооружений на подтопленных территориях района стали даже прибегать к устройству дренажей.

Отдельные работы одного из авторов настоящей статьи посвящены причинам подтопления строительных площадок, оценке роли естественных и искусственных факторов в развитии явлений подтоплений и режиму уровня подземных вод на застроенных территориях, расположенных в углепромышленном районе Ростовской области [2, 3, 5, 6]. Условия обводнения строительных площадок, расположенных на территории горных подработок, в том числе и промплощадок шахт, на которых наряду с шахтными стволами размещаются ответственные капитальные здания и сооружения поверхностного комплекса шахты (а в ряде случаев и углеобогатительной фабрики) в технической литературе освещены недостаточно. В целях получения необходимой информации по этому вопросу нами собраны, проанализированы и обобщены материалы инженерно-геологических изысканий, данные наблюдений и эксплуатации промплощадок шахт и кварталов жилой застройки, расположенных на подработанных территориях Восточного Донбасса (район деятельности ПО Ростовуголь и Гуковуголь) и характеризующихся различной степенью обводнения.

Ниже в качестве примеров рассмотрены особенности подтопления пяти наиболее характерных площадок промышленного (шахтного) и жилищно-гражданского строительства, каждая из которых характеризуется определенным сочетанием природных геологических условий и степенью обводнения пород основания, вызванного застройкой.

1. Промплощадка шахты имени 50-летия Октября расположена в 1 км западнее г. Гуково Ростовской области. Район представляет рав-

нинную степь, наклоненную к юго-востоку и расчлененную долинами неглубоких балок. Рельеф поверхности промплощадки спокойный, с неизначительным уклоном на юго-запад; абсолютные отметки поверхности промплощадки колеблются от 264 до 268 м.

Геолого-литологическое строение промплощадки изучено довольно подробно. По данным бурения скважин на уголь и для инженерно-геологических целей, сверху залегает почвенно-растительный слой мощностью 0,5 м, затем четвертичный суглинок лёссовидный, желто-бурый мощностью 11,5 м. Ниже лежит толща красно-бурых плотных водоупорных глин неогена мощностью 16,5 м. В основании комплекса глинистых пород залегают скальные породы карбона, представленные переслаивающимися между собой пластами глинистых сланцев, песчаников и известняков. Мощность пород карбона измеряется сотнями метров.

Лёссовидные суглинки, слагающие верхнюю часть разреза, характеризуются повышенной природной пористостью. Коэффициент их пористости в интервале глубин от 2 до 4 м колеблется от 0,827 до 1,015. Плотность их меняется от 1,7 до 1,86 г/см³, плотность сухой породы — от 1,36 до 1,5 г/см³, природная влажность от 0,22 до 0,32 дол. ед.

Гидрогеологические условия промплощадки характеризуются наличием постоянного водоносного горизонта, заключенного в лёссовидных суглинках четвертичного возраста. В 1950 г. до застройки промплощадки уровень подземных вод был вскрыт контрольно-осевой скважиной в месте заложения шахтного ствола на глубине 3,65 м от поверхности земли. В последующие годы (1952—1976 г.) в скважинах инженерно-геологического назначения и эпизодическими гидрогеологическими наблюдениями было отмечено залегание уровня подземных вод на глубине от 1,4 до 5,05 м от поверхности земли. При этом самый высокий их уровень был зарегистрирован в мае 1959 г. в период весеннего максимума. Высокое стояние уровня подземных вод было связано как с многоводностью предшествовавшего 1958 г., во время которого выпало около двух годовых норм осадков (726,2 мм при среднегодовой норме для района г. Гуково 400—450 мм), так и с широким разворотом строительных работ на промплощадке по сооружению поверхностного комплекса шахты.

В период массового ведения строительных работ поверхность промплощадки была сильно изрыта и захламлена навалами грунтов, штабелями различных строительных материалов, а также технологическим оборудованием. В результате был затруднен поверхностный сток дождевых и талых вод, значительная часть которых инфильтровалась в толщу пород, вызывая подъем уровня подземных вод на промплощадке шахты.

Минимальный уровень подземных вод был отмечен в засушливом 1972 г., когда за год выпало всего 359,3 мм осадков или 80% от среднегодовой нормы для данного района; он был зарегистрирован на глубине 3,6—5,05 м от поверхности земли.

По данным гидрогеологических наблюдений составлена карта гидроизогипс по состоянию на 2.Х.1970 г. (рис. 2), когда шахта уже работала на полную мощность. Как видно, на всей территории промплощадки шахты гидроизогипсы сохраняют плавное очертание, поток подземных вод имеет закономерное направление по уклону рельефа местности. Каких-либо аномалий, свидетельствующих о влиянии горных выработок, в том числе и шахтных стволов, на уровень подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта не наблюдается. Это свидетельствует о высоких водоудержательных свойствах «скифских» глин неогена, образующих надежный водоупор, на котором в условиях действующего горного предприятия сохраняется постоянный горизонт подземных вод в вышележащих суглинках. В то же время в результа-

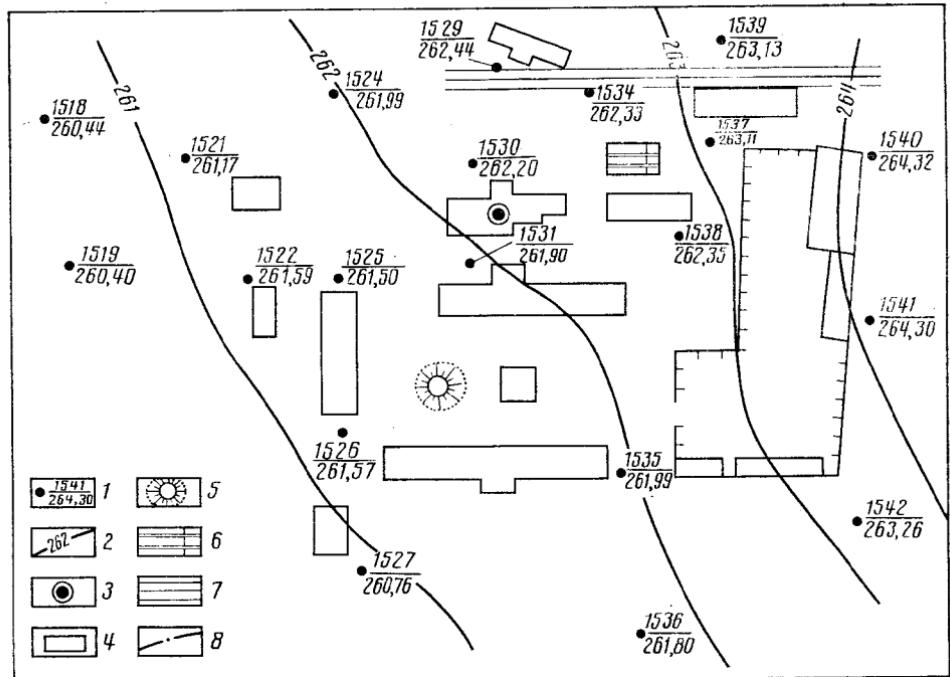


Рис. 2. План промплощадки шахты имени 50-летия Октября с нанесением гидроизогипс подземных вод. 1 — наблюдательные скважины (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня подземных вод, м); 2 — гидроизогипсы подземных вод на 2.X.1970 г.; 3 — вертикальный ствол шахты; 4 — здания и сооружения поверхности комплекса шахты; 5 — резервуар для воды; 6 — отстойники шахтных и шламовых вод; 7 — железнодорожные пути погрузочной станции; 8 — граница постоянного осушения стволовами грунтов основания до глубины 10 м от поверхности земли

те проведенных работ по благоустройству территории шахты, асфальтированию шахтного двора и площадки перед АБК (административно-бытовой комбинат) и устройству водоотводов для сброса ливневых и талых вод удалось стабилизировать уровень подземных вод, который уже длительное время стоит на отметках, близких к его положению до застройки промплощадки.

2. Промплощадка шахты Гуковская производственного объединения Гуковуголь, имеющая площадь около 25 га, расположена в степной равнине. Поверхность ее почти ровная со слабым уклоном на юг. Отметки поверхности земли колеблются в пределах 74,0–76,5.

Инженерно-геологические особенности промплощадки были изучены в 1947 г. По материалам геологической и инженерно-геологической разведки она сложена лёссовидными суглинками четвертичного возраста мощностью от 8 до 15 м, красно-бурыми «скифскими» глинами неогена, песчано-глинистыми и глинистыми сланцами и песчаниками карбона. Глины неогена в границах промплощадки характеризуются прерывистым залеганием и небольшой мощностью 1,5–3,5 м. Мощность отложений карбона измеряется сотнями метров. Породы каменноугольного возраста дислоцированы, пласты падают в южном направлении, под углом 16–20°.

При инженерно-геологической разведке 1947 г. было констатировано отсутствие подземных вод до глубины 10,0 м от поверхности земли.

Шахта была сдана в эксплуатацию в 1963 г. В период с 1965 по 1979 г. непосредственно на промплощадке шахты и вблизи нее в разные годы были пройдены 40 скважин инженерно-геологического назначения

(на рис. 3 показана только часть их). Некоторые из них были заданы специально в целях выявления характера возможных изменений гидрогеологических условий в процессе строительства и эксплуатации поверхностного комплекса шахты.

Данные бурения за указанный период показали, что уже в 1971 г. в северо-восточном углу промплощадки, в месте, где сооружены шламовые отстойники для складирования шлама, поступающего из обогатительной фабрики, вследствие искусственного обводнения произошло образование горизонта подземных вод на глубине 2,0–2,3 м от поверхности земли (уровень их имеет отметки 72,48–73,00 м). От этого участка в сторону шахтных стволов уровень подземных вод резко понижается. Уже в створе железнодорожных путей погрузочной станции он залегает на глубине около 10 м от поверхности земли. В районе шахтных стволов скв. 2700, 2701, выбуренными на глубину 10 м каждая, были вскрыты четвертичные суглинки, имевшие несколько повышенную природную влажность, которая колебалась от 20 до 25,6% и в среднем была равна 23%.

Оказалась «сухой» и скв. 2706, выбуренная примерно в 165 м к северо-востоку от главного ствола шахты на глубину 20 м. Этой скважиной были вскрыты (сверху вниз) четвертичные суглинки мощностью 10,1 м, красно-бурые глины неогена мощностью 1,5 м и глинистые сланцы карбона вскрытой мощностью 8,0 м.

Отдельные изолированные очаги обводнения пород основания были отмечены вблизи резервуаров для хранения противопожарного запаса воды, образовавшиеся, очевидно, вследствие утечек из этих сооружений. Так, вблизи резервуаров, расположенных в южной части промплощадки шахты, подземные воды были вскрыты в 1965 г. (скв. 717) и в 1972 г. (скв. 2711 и 2725) на глубинах соответственно 9,8 и 10,6 м от поверхности земли. За 7-летний период уровень их здесь остался почти без изменений. На площадке электроподстанции, расположенной у восточной границы промплощадки шахты, уровень подземных вод вскрытых скв. 1318–1320 в 1969 г. стоял на глубине 4,8–5,2 м от поверхности земли или на отметках 67,15–67,8 м (см. скв. 1318–1320). В то же время скв. 719, 721 и 726, пройденные вблизи отстойников шахтных вод на глубину 10–15 м, оказались «сухими». Характерно, что в разрезе этих скважин отсутствуют «скифские» глины неогена. Разрез здесь представлен четвертичными суглинками мощностью 11,9 м, залегающими непосредственно на породах карбона.

Как видим, за 20-летний период эксплуатации поверхностного комплекса шахты и обогатительной фабрики, водопотребление которой составляет около 1200 м³/сут, новый техногенный водоносный горизонт на промплощадке шахты не образовался. Это связано с тем, что в основании четвертичных суглинков «скифские» глины неогена, играющие роль регионального водоупора, не имеют сплошного распространения в границах промплощадки. Там, где они присутствуют, они, как правило, имеют небольшую мощность (1,0–3,0 м). При таком геологическом разрезе создались благоприятные условия для дренирования горными выработками подземных вод суглинистой толщи в толще нижележащих трещиноватых пород карбона. Об этом свидетельствует падение отметок зеркала подземных вод, образовавшихся в суглинках на отдельных участках промплощадки, в сторону шахтных стволов. Вокруг шахтных стволов образовалась постоянная зона осушения грунтов основания радиусом около 150–200 м (рис. 3).

3. Промплощадка шахты имени 60-летия Ленинского комсомола, имеющая площадь около 40 га, расположена в степной равнине Ростовской области. Поверхность ее сравнительно ровная с чуть заметным уклоном на юго-восток. Абсолютные отметки поверхности земли изменяются в пределах от 254,0 до 260,0 м.

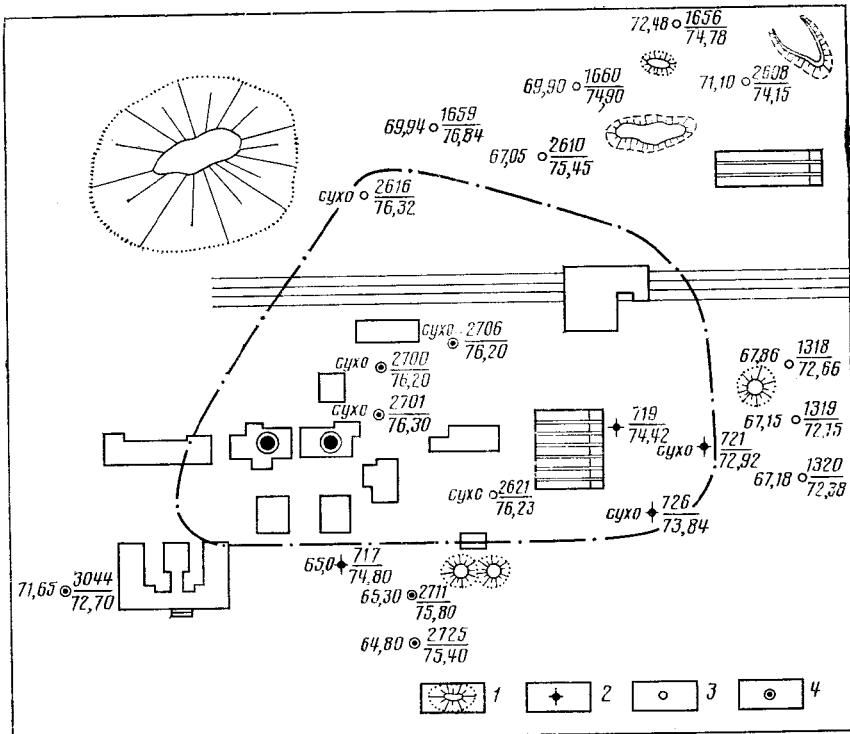


Рис. 3. План расположения скважин на промплощадке шахты Гуковская. 1 — площадка для складирования шлама; 2 — скважины глубиной до 15 м, пробуренные в 1965 г. (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка поверхности земли, число слева — отметка уровня подземных вод, м); 3 — скважины, пробуренные в 1969, 1971—1972 гг., 4 — то же в 1979—1982 гг.

По материалам инженерно-геологических изысканий и данным бурения осевых скважин, промплощадка сложена (сверху вниз) почвенно-растительным слоем мощностью 0,5 м, гумусированными суглинками средней мощностью 0,6 м, слоем четвертичных лёссовидных суглинков желто-бурового и коричневато-бурового цвета, мощностью от 6,4 до 16,6 м. Ниже, с глубины 7,5—17,7 м, залегают красно-бурые глины неогена. Глины плотные, жирные, водоупорные. В плане они не имеют сплошного распространения; максимальная мощность их достигает 6,2 м. Под глинями неогена лежат породы карбона, кровля которых была вскрыта отдельными скважинами на глубине 10,8—18,5 м от поверхности земли. Они представлены чередующимися пластами глинистых и песчано-глинистых сланцев, песчаников, известняков и углей. Мощность их измеряется сотнями метров. Залегание пород карбона нарушенное, падение пластов южное под углами 5—6°.

При изысканиях к проекту и рабочим чертежам (1963, III—XI) на территории, представляющей собой чистое поле, было пройдено 46 скважин глубиною от 8 до 16 м. При этом подземные воды были встречены в суглинках четвертичного возраста только тремя скважинами на глубинах 5,5; 10,5 и 15,7 м от поверхности земли. Они имели спорадическое распространение и носили временный характер. При бурении скважин в июне 1964 г. на участке заложения шахтных стволов, которое выполнялось ГРП Волго-Донского территориального геологического управления, подземные воды были вскрыты в выветрелой зоне каменноугольных пород на глубине 20,75 м от поверхности земли. Глинистая толща надкарбоновых пород оказалась безводной.

В результате инженерно-геологических изысканий, установивших в разрезе пород основания наличие слоя водоупорных «скифских» глин неогена, был дан прогноз о возможном образовании техногенного водоносного горизонта на глубине около 4,0 м от поверхности земли.

Строительство поверхностного комплекса и проходка шахтных стволов начались в 1965 г. Изменение гидрогеологических условий промплощадки в связи с застройкой характеризуется следующими данными.

В 1968 и 1971 г. непосредственно на промплощадке шахты были дополнительно пройдены под различные здания и сооружения, а также специально для проверки возможного образования горизонта подземных вод в связи с застройкой, еще 44 скважины глубиною от 5 до 15 м. При этом 28 скважин вскрыли подземные воды на глубине 3,8–8,9 м от поверхности земли. «Сухими» оказались скважины глубиною 10 м, пройденные в радиусе 45–70 м от главного ствола, а также скв. 1981 глубиною 11 м, выбуренная в 290 м к северо-востоку от главного ствола, вскрывшая суглинки, лежащие непосредственно на трещиноватых породах карбона.

Отсутствие подземных вод в центральной части промплощадки, вблизи главного и вспомогательного стволов, косвенно тогда указывало на возможное дренирование подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта стволом, который находился в проходке во время буровых работ.

Таким образом, практически к 1971 г., спустя примерно 7 лет, после начала строительства, на промплощадке почти повсеместно сформировался техногенный водоносный горизонт с глубиной залегания уровня от 3,8 до 10,0 м от поверхности земли. Наблюдения показали, что зеркало водоносного горизонта испытывает сезонные колебания и имеет тенденцию к постепенному росту. Так, позже в районе котельной уровень подземных вод стоял на глубине: в марте – апреле 1979 г.–1,48–3,84, а в ноябре 1981 г.–1,42–1,70 м от поверхности земли.

Как показали эпизодические гидрогеологические наблюдения и данные разовых вскрытий уровня подземных вод в 1981–1982 гг., наиболее близкое залегание их к дневной поверхности было приурочено к участкам железнодорожной погрузочной станции, котельной, ЦОФ (Центральная обогатительная фабрика), мазутохраннице, складской территории, т. е. к местам, лишенным поверхностного стока или сильно захламленным различными материалами и оборудованием. Например, на протяжении ряда лет наблюдалось скопление ливневых вод в бессточном понижении в районе котельной, компрессорной и механических мастерских, в кюветах вдоль железнодорожных путей. Погрузочная железнодорожная станция, насыпь которой площадью около 42 000 м² сверху отсыпана из зернистого материала, ежегодно поглощает несколько тысяч кубометров атмосферных осадков, которые в конечном счете инфильтруются в породы основания. Таким образом, образование техногенного водоносного горизонта произошло в основном вследствие усиления инфильтрации ливневых и талых вод в толще пород в результате ухудшения условий поверхностного стока при освоении территории.

Образованию его способствовало наличие в разрезе пород основания красно-бурых глин неогена, характеризующихся повышенной природной плотностью в сравнении с вышележащими лёссовидными суглинками четвертичного возраста. Эти глины образуют местный водоупор.

Дренирование подземных вод, циркулирующих в четвертичных суглинках, шахтными стволами было отмечено как в строительный период (1977 г.), так и в период эксплуатации шахты (1984 г.). В 1977 г. скв. 14-к и 15-к, заданными соответственно у АБК и сушильного отде-

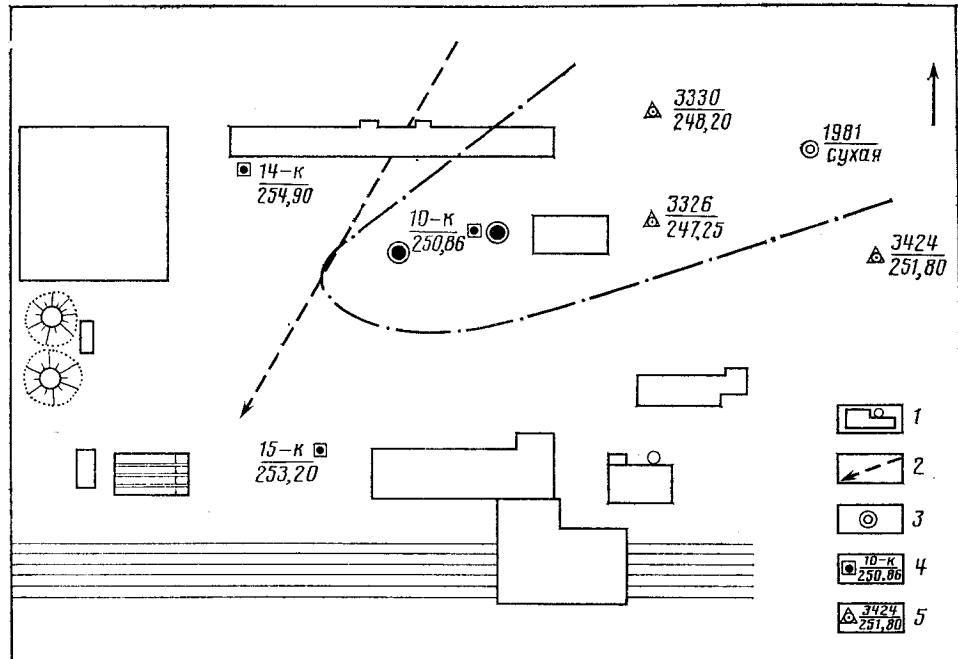


Рис. 4. План промплощадки шахты имени 60-летия Ленинского комсомола. 1 — котельная; 2 — направление уклона поверхности земли; 3 — скважина, пробуренная в 1969 г. и ее номер; 4 — скважины, пробуренные в 1977 г. (числитель — номер скважины, знаменатель — отметка уровня подземных вод); 5 — то же в 1984 г.

ления обогатительной фабрики, уровень подземных вод был вскрыт на отметках 254,9 и 253,2 м. В это же время в скважине 10-к, пройденной в 23 м от главного ствола, он имел отметку 250,86 м.

В 1984 г. скв. 3326, 3330 и 3424, выбуленными соответственно в 145, 170 и 360 м (рис. 4) в северо-восточном направлении от главного ствола, уровень подземных вод был вскрыт на отметках 247,25; 248,20; 251,80 м при отметке горизонта подземных вод за внешней оболочкой крепления ствола (судя по выпотам на внутренней поверхности бетонного крепления ствола), около 240—242 м.

Как видно, в обоих случаях уклон подземного потока был направлен в сторону главного ствола. Это указывает на то, что стволы дренируют подземные воды, приуроченные к покровным суглинисто-глинистым отложениям четвертичного возраста.

В то же время заметно, что дренирующий эффект, оказываемый здесь стволами и вызывающий снижение уровня подземных вод в суглинках основания, сравнительно невелик и носит явно избирательный характер. Несмотря на систематическую откачуку шахтных вод из горных выработок шахты более чем в течение 18 лет, на промплощадке в лёссовидных суглинках произошло образование постоянного техногенного водоносного горизонта с глубиной залегания уровня 3—10 м от поверхности земли. Эффект осушения пород основания проявился только в тех местах промплощадки, где в основании суглинков глины неогена имели небольшую мощность (до 3 м) или отсутствовали в разрезе совсем. Через такие «окна» происходит дренирование инфильтрационных вод, попадающих в суглинистую толщу, в трещиноватую зону каменноугольных отложений.

4. Территория микрорайона в восточной части г. Шахты Ростовской области площадью около 50 га. Рельеф территории представляет собой всхолмленную равнину, наклоненную с северо-востока на юго-запад в

сторону р. Грушевки, протекающей примерно в двух километрах западнее. Уклон поверхности земли в границах описываемой территории составляет 0,007. Абсолютные отметки поверхности территории микрорайона изменяются от 111 до 129 м. К южной границе этой территории примыкает промплощадка шахты, на угольном поле которой расположен исследуемый участок. В период изысканий в 1985 г. территория микрорайона была частично застроена, в основном усадьбами частного сектора.

Геологический разрез территории микрорайона представлен четвертичными суглинками желто-бурового и коричневато-бурового цвета, залегающими на красно-бурых «скифских» глинах неогена. Суглинки желто-бурового цвета лежат на глубине 0,7—1,7 м от поверхности земли, развиты повсеместно. Мощность их колеблется от 0,5 до 9,0 м, в среднем равна 3,0 м. Наибольшую мощность они имеют в районе скв. 55, в юго-западном углу территории микрорайона (рис. 5). Суглинки тяжелые, пылеватые, незасоленные. Средняя плотность их при природной влажности равна 1,92 г/см³, коэффициент пористости — 0,785. В природном залегании находятся преимущественно в водонасыщенном состоянии и характеризуются показателем текучести, колеблющимся в пределах от 0,11 до 0,39 дол. ед. Суглинки коричневато-бурые залегают ниже желто-бурых на глубине от 1,0 до 1,6 от поверхности земли. Распространены неповсеместно. Мощность их колеблется от 0,00 до 11,2. Грунты характеризуются повышенными показателями природной плотности: нормативное значение плотности при природной влажности ($W_{\text{сред}} = -0,236$ дол. ед.) равно 1,95 г/см³, коэффициента пористости — 0,734. В природном залегании находятся в водонасыщенном состоянии и характеризуются показателем текучести $0 \leqslant I_2 \leqslant 0,25$. В толще коричневато-бурых суглинков местами встречаются линзы погребенных почв мощностью до 1,2 м.

В основании четвертичных суглинков залегает толща красно-бурых «скифских» глин неогена. Их кровля встречена бурением в основном на глубине 1,7—5,7 м от поверхности земли. Вблизи промплощадки шахты она погружается под четвертичные отложения на глубину 9,0 м от поверхности земли. Глины имеют характерный ярковыраженный красно-буровый цвет, на ощупь жирные, содержат характерные точечные включения бобовинок марганца, а также обильные включения известковых солей в виде стяжений и мелких друз диаметром 0,5—3,0 см. Местами красно-бурые глины несколько опесчанены вследствие содержания тонких прослоев и линз пылеватых и мелких песков, мощность которых изредка достигает 0,5 м. Глины характеризуются повышенной природной плотностью. Нормативные значения физических характеристик для глин равны: плотность при природной влажности 1,97 г/см³, для опесчаненных 2,03 г/см³, коэффициент пористости соответственно 0,731 и 0,602, коэффициент фильтрации 0,00005 и 0,0007 м/сут. Глины насыщены подземными водами и характеризуются как грунты твердые и полутвердые. По данным глубокого бурения на уголь и проходки шахтных стволов, мощность красно-бурых глин составляет 30,0—32,5 м.

Под «скифскими» глинами залегают понтические известняки-ракушечники с тонкими прослойями желто-бурых глин и песков. Мощность известняков колеблется от 1,5 до 5 м. Еще ниже залегают мелкозернистые кварцевые пески сарматского яруса мощностью около 20 м; подошва этих отложений фиксируется на глубине 63,9 м от поверхности земли. От этой отметки вниз по разрезу вскрыта толща серых и зелено-вато-серых палеогеновых глин мощностью в среднем около 30 м, под которыми залегают каменноугольные отложения, представленные свитами C_2^2 — C_2^1 среднего и свитами C_1^5 — C_1^4 нижнего отделов карбона. Состав отложений карбона — глинистые и песчано-глинистые сланцы, песчаники, известняки и угли. Породы карбона дислоцированы, пласти

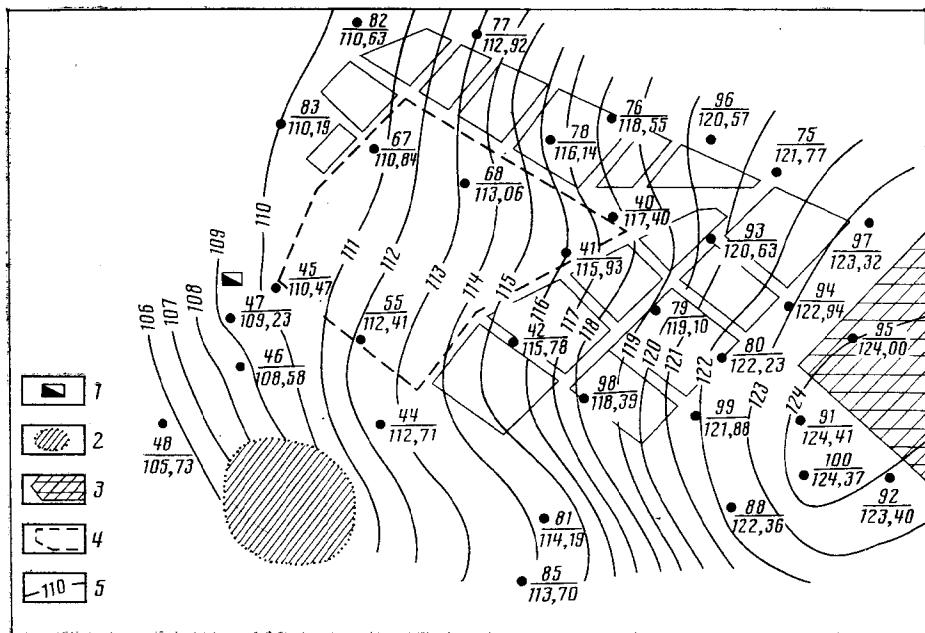


Рис. 5. План территории микрорайона с нанесением гидроизогипс подземных вод. 1 — вентиляционный шурф шахты; 2 — отвал горных пород шахты; 3 — участок инженерно-геологических изысканий 1958 г.; 4 — границы незастроенной территории; 5 — гидроизогипсы подземных вод на 6.II.1986 г.

падают на северо-восток под углами 6—20°. Простижение пород северо-западное 310—320°. По данным бурения на уголь, зона выветривания пород карбона достигает в районе 20—30 м по вертикали, считая от поверхности каменноугольных отложений, а их трещиноватость простирается до глубины 500 м.

В пределах территории микрорайона в сжимаемой толще пород основания подземные воды содержатся в четвертичных лессовидных суглинках и в тонких песчаных прослоях и линзах, залегающих местами в толще «скифских» глин неогена.

Освоение характеризуемой территории началось с 1908 г. в связи с шахтным строительством. К сожалению, геологические материалы, относящиеся к начальному периоду основания территории, по которым можно было бы судить о глубине залегания подземных вод в суглинках до застройки территории, не сохранились.

Наиболее ранние сведения о вскрытии подземных вод в суглинках района относятся к 1946 г. В марте этого года скважиной, заданной на площадке западного вентиляционного шурфа соседней шахты, расположенной в 200 м от юго-западной границы территории микрорайона, были вскрыты последовательно четвертичные суглинки мощностью 9,4 м, «скифские» глины мощностью 29,2 м, понтические известняки-ракушечники мощностью 6,1 м и слой мелких песков вскрытой мощностью 6,2 м. Первый горизонт подземных вод был встречен в суглинках на глубине 1,87 м, а второй — в песках, залегающих ниже понтических известняков, на глубине 45,3 м от поверхности земли.

В 1953 г. Южгипрошахтом на промплощадке соседней шахты, действующей с 1914 г., при выполнении буровых работ к проекту реконструкции поверхностного комплекса подземные воды были зафиксированы на глубине 0,2—3,6 м от поверхности земли. В 1958 г. на участке инженерно-геологической разведки к проекту намечавшегося строитель-

ства жилого поселка шахтеров (см. рис. 5), подземные воды в суглинках были вскрыты на глубине 2,6—7,5 м от поверхности земли.

При изысканиях к проекту застройки микрорайона в 1986 г. подземные воды в четвертичных суглинках были вскрыты на всей территории. Они залегают на глубине 0,30—3,5, реже 4—6 м, от поверхности земли в зависимости от рельефа местности. Подземные воды безнапорные, образуют грунтовый поток, движущийся в западном, юго-западном направлении в сторону ближайшей р. Грушевки, уклон потока в среднем равен 0,007. Мощность водоносного горизонта в суглинках составляет 1,5—9,0 м. Питание водоносного горизонта осуществляется в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично за счет скрытых, а местами и наблюдаемых утечек из водонесущих подземных трубопроводов, пересекающих территорию в нескольких направлениях.

В 1985 г. на площадке микрорайона и на прилегающей к ней территории была оборудована режимная сеть из 32 наблюдательных гидро-геологических скважин. За период кратковременных (1986 г., I—VIII) наблюдений среднее значение амплитуды колебания уровня подземных вод составило 1,75 м при изменении ее для отдельных наблюдательных пунктов от 0,86 до 2,87 м. Водоупором для этого водоносного горизонта служит толща красно-бурых плотных глин неогена, в основном безводная. Подземные воды в «скифских» глинах неогена содержатся лишь в тонких песчаных прослоях и линзах, наблюдаемых местами в толще этих глин.

Несмотря на то, что ниже толщи «скифских» глин, на глубине 140—270 м от поверхности земли, в отложениях карбона уже более полувека ведется разработка угольных пластов, сопровождающаяся шахтным водоотливом и приведшая к осушению водоносных горизонтов в понтических известняках и песках сарматы, «скифские» глины надежнодерживают в подвешенном состоянии горизонт подземных вод, приуроченный к вышележащим суглинкам четвертичного возраста.

Именно с неглубоким залеганием глин неогена, обладающих водоупорными свойствами, и их широким площадным развитием связано повсеместное накопление здесь подземных вод в суглинках на небольшой глубине, в зоне заложения фундаментов зданий и сооружений.

Подземные воды, циркулирующие в суглинках, по результатам химических анализов 39 проб этих вод, характеризуются повышенной общей минерализацией. Среднее содержание сухого остатка в воде составляет 4622 мг/л; сульфатов 2171,85; хлоридов — 462,22; гидрокарбонатов — 485,03; магния — 175,29; калия и натрия 879,84 мг/л. Показатель водородных ионов pH равен 7,0. По величине общей минерализации и содержанию в воде отдельных химических компонентов, определяющих ее агрессивные свойства по отношению к бетону конструкций, подземные воды очень близки к обобщенным показателям химического состава воды, приведенным для данного района г. Шахты в работе [4].

5. Территория юго-западного района г. Гуково расположена в степной части Ростовской области на несколько приподнятом водораздельном пространстве, лежащем между двумя балками. Рельеф ее довольно ровный, с незначительным общим уклоном с северо-запада на юго-восток. Геологический разрез территории сложен четвертичными лессовидными суглинками желто-бурового и коричневато-бурового цвета, мощностью от 4 до 11,5 м, в основании которых залегают водоупорные породы, представленные слоем красно-бурых «скифских» глин неогена мощностью от 5,5 до 16,8 м. В свою очередь под «скифскими» глинами залегает мощная толща среднекаменоугольных отложений (свиты C_2^6 и C_2^5), состоящих из глинистых и песчано-глинистых сланцев, песчаников и известняков с прослоями углей. Залегание пород карбона нарушенное, падение южное, углы падения пластов колеблются в пределах 10—12°. В породах карбона фиксируется тектоническое нарушение типа разло-

ма, пересекающее территорию города с севера на юг. Эта зона разлома установлена подземными горными выработками шахты и прослежена в кривле каменноугольных отложений под более молодыми отложениями.

Застройка территории началась в 1949 г. и осуществлялась без помех подземных вод, которые в это время залегали на глубину 6,5—9,0 м от поверхности земли. В 1960 г., когда значительная часть территории района была застроена и проложены подземные сети водопровода и канализации, весной в наиболее заглубленных подвалах ряда жилых и культурно-бытовых зданий и сооружений было отмечено появление подземных вод. В настоящее время территория района площадью около 5 кв. м находится в состоянии подтопления. В ее границах образовался постоянный водоносный горизонт с глубиной залегания 0,50—4,0 м от поверхности земли. Подземные воды приурочены к слою лёссовидных суглинков четвертичного возраста, воды ненапорные, со свободной поверхностью водного зеркала.

Подъем уровня подземных вод в суглинках произошел несмотря на то, что территория городского района расположена на горных подработках и, кроме того, пересечена с юга на север тектоническим разломом, в зоне которого отмечается интенсивная трещиноватость каменноугольных пород и связанная с ней повышенная циркуляция подземных вод.

Однако дренирования подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта, приуроченного к лёссовой толще, здесь не наблюдается. Наоборот, как показывают наблюдения, здесь идет постепенное расширение границ обводнения городской территории по мере ее освоения с сохранением высокого уровня подземных вод на протяжении длительного времени (более 25 лет) в пределах ранее застроенных кварталов. Это связано с наличием в разрезе грунтов основания мощной толщи «скифских» глин неогена, которые, благодаря своим водоупорным свойствам, надежнодерживают горизонт подземных вод в четвертичных суглинках, несмотря на расположение городских кварталов на территории, не только подработанной, но и пересеченной тектоническим разломом.

Всесторонний анализ данных, приведенных выше, показывает, что для всех застроенных и подтопленных промплощадок шахт и кварталов городской застройки характерно наличие в геологическом разрезе под суглинками слоя «скифских» глин неогена. Эти глины, благодаря высокому содержанию глинистых частиц и повышенной природной плотности, отличаются высокими водоудержательными свойствами. В технической литературе [1] они характеризуются как региональный водоупор в комплексе неогеновых отложений Восточного Донбасса. Об их надежных водоудержательных свойствах свидетельствует, например, следующий факт. При проходке вентиляционного ствола шахты, заложенного на правом высоком берегу р. Кадамовки, юго-восточнее г. Шахты, были вскрыты (сверху вниз): почвенно-растительный слой мощностью 0,3 м; лёссовидные суглинки четвертичного возраста мощностью 25,4 м, обводненные до подошвы слоя, начиная с глубины 2,5 м от поверхности земли; глины неогена влажные, твердые, мощностью 13,7 м и слой безводных («сухих») песков понтического возраста мощностью 11 м.

«Скифские» глины играют основную роль в формировании гидрологической обстановки, с ними связано развитие процессов подтопления на застроенных территориях в районе горных подработок. В случаях отсутствия этих глин под четвертичными суглинками или при недостаточной их мощности при горных подработках наблюдается образование постоянных воронок осушения грунтов основания вокруг шахтных стволов на промплощадках шахт, а также местами снижение уровня подземных вод, заключенных в суглинках.

Мощность водоупорных глин неогена и глубина залегания уровня подземных вод на застроенных и незастроенных территориях, расположенных на горных подработках в районе городов Гуково, Новошахтинска и Шахты Ростовской области

Объект и характер территории (в скобках)	Суглинок четвертичный		Глина неогеновая		Средняя глубина залегания УПВ, м
	глубина залегания слоя, м	средняя мощность слоя, м	глубина залегания слоя, м	средняя мощность слоя, м	
<i>Район г. Шахты</i>					
Шахта Майская (застроенная, подтопленная)	0,9—23,0	22,1	23,0—37,1	14,1	3,2
Поселок Майский (застроенная, подтопленная)	0,6—12,0	11,4	12,0—18,0	6,0	3,0
Западный вентиляционный шурф шахты им. Октябрьской революции (застроенная)	0,6—10,0	9,4	10,0—39,2	29,2	1,87
<i>Район г. Новошахтинска</i>					
Шахта Западная-Капитальная (застроенная, подтопленная)	1,0—10,0	9,0	10,0—23,6	13,6	1,5
Жилой квартал № 4 в г. Новошахтинске (частично застроенная, подтопленная)	0,5—11,5	11,0	11,5—20,0	8,5	2,9
Жилой квартал № 5 в г. Новошахтинске (незастроенная)	0,6—11,0	10,4	11,0—31,0	20,0	5,0
Жилой квартал по ул. Радио в г. Новошахтинске (незастроенная)	0,7—14,0	13,3	14,0—20,0	6,0	6,5
Строительный объект (незастроенная)	0,5—14,0	13,5	14,0—20,0	6,0	11,0
<i>Район г. Гуково</i>					
Юго-Западный район г. Гуково (застроенная, подтопленная)	0,6—13,4	12,8	13,4—31,0	17,6	1,7
Шахта имени 60-летия Ленинского комсомола (застроенная, подтопленная)	0,5—15,8	15,3	15,8—19,8	4,0	2,0
Шахта имени 50-летия Октября (застроенная)	0,6—17,0	16,4	17,0—28,5	11,5	3,5
Микрорайон № 1 в пос. Новомихайловском (незастроенная)	0,9—13,0	12,1	13,0—18,0	5,0	4,0

Примечание. Для суглиновков и глин даны глубины залегания кровли и подошвы слоя.

Как известно, после выемки угля производится посадка кровли, которая обычно сопровождается оседанием поверхности земли над выработанным пространством. Практика показывает, что в связи с небольшой выемочной мощностью угольных пластов и сравнительно глубоким их залеганием оседание земной поверхности над выработанным пространством в мульде сдвижения составляет сравнительно небольшую величину. В этих условиях никаких нарушений сплошности пород в зоне заложения фундаментов зданий и сооружений при инженерно-геологической разведке обнаружено не было. Не было зарегистрировано и аномального увеличения водопроницаемости пород в зоне фундирования, связанной с возможным нарушением сплошности пород водоупорного слоя глин при оседании земной поверхности над выработанным пространством. Наоборот, застроенные подтопленные территории (таблица), расположенные в зоне горных подработок, в разрезе которых отмечается наличие слоя «скифских» глин мощностью свыше 3,0 м, характе-

ризуются повсеместным неглубоким залеганием уровня подземных вод. Это свидетельствует о том, что при разном характере оседания пластов горных пород над выработанным пространством не наблюдается образования разрывов и трещин в водоупорной толще «скифских» глин, по которым мог бы наблюдаваться дренаж подземных вод из четвертичных суглинков в нижележащие пласти горных пород.

Как свидетельствуют многочисленные примеры, «скифские» глины надежно удерживают в подвешенном состоянии первый от поверхности водоносный горизонт, содержащийся в четвертичных суглинках, несмотря на многолетнюю откачуку подземных вод из нижележащих горных выработок, приводящую порой даже к осушению пород ниже этих глин. Таким образом, «скифские» глины неогена в пределах описываемого района во всех отношениях являются надежным водоупором.

В случае прогнозирования подтопления вновь застраиваемых площадок, сложенных суглинками, и располагающихся на подрабатываемых территориях Восточного Донбасса, «скифские» глины должны рассматриваться как основной геологический фактор в развитии этого процесса при любых источниках обводнения.

Строительные площадки, располагающиеся на подрабатываемых территориях района, сложенные слабопроницаемыми суглинками, в основании которых залегают «скифские» глины неогена мощностью более 3,0 м, характеризующиеся до строительства отсутствием подземных вод в зоне аэрации или наличием их на глубине более 4—5 м от поверхности земли [7], следует считать потенциально подтопляемыми.

При обобщении фактического материала удалось констатировать, что описанный выше типичный разрез покровных глинистых отложений, в которых развивается подтопление застраиваемых территорий грунтовыми водами, наблюдается на обширной территории Ростовской области, охватывающей районы городов Гуково, Новошахтинска и Шахты и прилегающие к ним местности. Это позволяет более целенаправленно планировать инженерно-геологические изыскания при изучении новых площадок для перспективного строительства в районе горных подработок и выдачу прогнозных данных, используя метод аналогий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрогеология СССР. Т. XXVIII. Нижний Дон и Северо-Восточное Приазовье. М.: Недра, 1970. 36 с.
2. Орлов Я. М. Причины самоподтопления строительных площадок в Ростовской области//Инженерные изыскания в строительстве. Защита застроенных территорий от подтопления. Киев: Будивельник, 1972. С. 57—64.
3. Орлов Я. М. Режим уровня грунтовых вод на застроенных территориях//Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. Ростов н/Д: РИСИ, 1978. С. 57—61.
4. Орлов Я. М. Систематизация и обобщение результатов химических анализов грунтовых вод в целях инженерно-геологического прогнозирования//Инж. геология. 1986. № 6. С. 102—111.
5. Орлов Я. М., Клещева Т. И. Опыт прогноза подтопления грунтовыми водами застраиваемых территорий//Тез. докл. Всесоюз. конф. по инж. геологии. Тема IV. Ростов н/Д: РИСИ, 1980. С. 19—22.
6. Орлов Я. М., Клещева Т. И. Обработка инженерно-геологических данных с помощью ЭВМ//Инж. геология. 1986. № 2. С. 104—113.
7. Рекомендации по выбору исходных данных для модели прогноза процесса подтопления городских территорий. М.: Стройиздат, 1986. 5 с.
8. Строительные нормы и правила. Основания зданий и сооружений. СНиП 2.02.01—81. М.: Стройиздат, 1985.

УДК 624.131.38

ИЛЬЧЕВ В. А., ШЕЙНИН В. И., УЛЯХИН О. В.,
МИХЕЕВ В. В., КУЛАЧКИН Б. И., ГРАЧЕВ Ю. А.,
БЕТЕЛЕВ Н. П.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ОБЪЕМОВ ЗАКРЕПЛЕННОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗОНДИРОВАНИЯ

В настоящее время для улучшения прочностных, деформационных и других свойств просадочных грунтов достаточно эффективно применяется способ силикатизации [10]. Поскольку по своим основным свойствам силикатизированные грунты достаточно близки к полускальным и скальным, расчеты закрепленных оснований по предельным состояниям выполняются по правилам для этих типов грунтов [7, 9]. При этом определение несущей способности массива сводится в основном к вычислению вертикальной составляющей силы предельного сопротивления N_u по расчетному значению предела прочности при одноосном сжатии R_c (расчетной прочности) грунта, исходной информацией для вычисления которого служат результаты полевых и лабораторных исследований. При анализе результатов таких исследований в настоящее время не учитывается существенная неоднородность свойств закрепленного массива (коэффициент вариации значений прочности грунта в отдельных случаях достигает 0,8). Такая неоднородность оказывает заметное влияние на несущую способность основания. Использование же обычных статистических правил [9], которые, как известно, исходят из предположения о нормальном распределении значений исследуемого параметра, неправомерно. Следовательно, при выполнении расчетов оснований, сложенных закрепленными грунтами, возникает необходимость специального учета значительной случайной изменчивости характеристик свойств таких грунтов, порожденной слоистостью массива, нестабильностью параметров нагнетания растворов и т. п.

Поскольку в реальном закрепленном массиве наблюдается чередование зон силикатизированного и природного грунта, прочность всего массива определяется средней прочностью наиболее слабого из горизонтальных слоев сравнительно малой толщины, на которые этот массив разбивается. При этом необходимо учитывать параметры неоднородности грунта и информацию о прочностных свойствах остальных слоев.

Для определения средней прочности отдельных слоев можно достаточно эффективно использовать подход, применяемый в настоящее время в прикладной геостатистике [2, 4, 5] при оценке запасов полезных ископаемых, где неизвестное точное содержание руды в блоке оценивается по множеству известных содержаний руды в пробах с учетом взаимной корреляции между ними. Такая операция в [2, 5] называется «оптимальным методом оценивания» («крайгингом»).

Ниже предлагается метод определения расчетной прочности закрепленного массива, базирующийся на основных положениях «крайгинга» и учитывающий особенности исходной информации для расчетов. Такой информацией служат результаты описания случайной пространственной изменчивости прочностных свойств массива, которое было выполнено ра-

нее [3, 11] по данным пенетрации в шурфах по сетке квадратов [6], а также результаты ударно-вращательного зондирования [3] оснований конкретных фундаментов.

Согласно принятой модели стационарной и эргодической случайной функции $R_c(x, y, z)$, параметрами неоднородности массива являются среднее значение \bar{R}_c и корреляционная функция $K(\rho, \tau)$, где ρ — расстояние между точками пенетрации в плане, τ — по глубине [12]. Функция $K(\rho, \tau)$ рассматривается как зависящая от двух аргументов, поскольку характер изменения прочностных свойств закрепленного грунта между скважинами (в плане) и вдоль скважин (по глубине) различен.

Оценки корреляционной функции, вычисляемые на основе наборов данных пенетрации по специально разработанному алгоритму, аппроксимируются зависимостью

$$K(\rho, \tau) = b(\rho, \tau) (\hat{\bar{R}}_c^{(v)})^2, \quad (1)$$

где

$$b(\rho, \tau) = v_1^2 e^{-((\bar{\alpha}_\rho \rho)^2 + (\bar{\alpha}_\tau \tau)^2)^{1/2}} + v_2^2 e^{-((\tilde{\alpha}_\rho \rho)^2 + (\tilde{\alpha}_\tau \tau)^2)^{1/2}}, \quad (2)$$

$v_1 = \bar{D}/\bar{R}_c^2$ и $v_2 = \tilde{D}/\bar{R}_c^2$ — составляющие коэффициента вариации значений прочности грунта ($v^2 = v_1^2 + v_2^2$), $\hat{\bar{R}}_c^{(v)}$ — оценка средней прочности закрепленного грунта под конкретным фундаментом по данным зондирования, \bar{R}_c — то же по данным пенетрации в шурфе; \bar{D} , \tilde{D} — составляющие дисперсии D значений прочности грунта ($D = \bar{D} + \tilde{D}$); $\bar{\alpha}_\rho$, $\bar{\alpha}_\tau$, $\tilde{\alpha}_\rho$, $\tilde{\alpha}_\tau$ — коэффициенты с размерностью m^{-1} .

Результатами ударно-вращательного зондирования массивов, использование которого для исследований силикатизированных грунтов было предложено в ВНИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова [3], являются серии графиков изменения прочности грунта по глубине, получаемые с помощью экспериментальной зависимости между прочностью грунта и скоростью погружения зонда.

Следуя [2, 5], в качестве неизвестного истинного среднего $\bar{R}_c = \frac{1}{v} \int_v R_c(r) d r$, где v — объем рассматриваемой области, r — ради-

ус-вектор точки (x, y, z) , принимаем оценку

$$\hat{\bar{R}}_{c,0} = \sum_{i=1}^N a_i \bar{R}_{c,i}, \quad (3)$$

в которой каждому из экспериментальных значений $\bar{R}_{c,i}$, получаемых при зондировании, приписывается вес a_i . Указанные коэффициенты выбираются так, чтобы значение $\hat{\bar{R}}_{c,0}$ было бы наилучшим (оптимальным) в том смысле, что дисперсия случайного отклонения оценки (3) от истинного среднего $\delta = \bar{R}_c - \hat{\bar{R}}_{c,0}$, называемая в [2, 5] «дисперсией распространения», минимальна.

Числовые значения коэффициентов a_i определяются из решения системы $N+1$ линейных алгебраических уравнений краинга [4, 5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N a_i \sigma_{ij} + \mu = \sigma_{i\bar{R}_c}, \\ \sum_{j=1}^N a_j = 1, \end{array} \right. \quad (4)$$

где μ — множитель Лагранжа, σ_{ij} — взаимные ковариации между i — м и j — м значениями прочности закрепленного грунта, $\sigma_{i\bar{R}_c}$ — ковариации

между значениями $\bar{R}_{c,i}$ и средней прочностью \bar{R}_c рассматриваемого грунтового объема.

Особенностью результатов зондирования является получение не локальных значений прочности, а значений, осредненных на небольших интервалах длиной s ($\sim 0,6$ м), т. е.

$$\bar{R}_{c,i} = \frac{1}{s} \int_{z_i - s/2}^{z_i + s/2} R_c(x, y, z) dz, \quad (5)$$

где z_i — координаты центров интервалов опробований.

С учетом указанной особенности исходных данных выражение для вычисления ковариаций σ_{ij} будет записываться как

$$\sigma_{ij} = \frac{1}{s^2} \int_{z_i - \frac{s}{2}}^{z_i + \frac{s}{2}} \int_{z_j - \frac{s}{2}}^{z_j + \frac{s}{2}} K(\rho_{ij}, |\tau - t|) d\tau dt, \quad (6)$$

где $K(\rho_{ij}, |\tau - t|)$ — функция вида (1), $\tau - t$ — расстояние по глубине между точками, лежащими в пределах i -го и j -го интервалов опробования, $\rho_{ij} = ((x_i - y_i)^2 + (y_i - y_j)^2)^{1/2}$ — расстояние в плане между центрами i -го и j -го интервалов опробования, x_i, y_i, x_j, y_j — координаты центров интервалов.

Ковариации $\sigma_{i\bar{R}_c}$ определяются выражением

$$\sigma_{i\bar{R}_c} = \frac{1}{sblh} \int_{z_i - \frac{s}{2}}^{z_i + \frac{s}{2}} \int_0^l \int_0^b \int_{\tau}^{b+\tau+h} K(\rho_i, |z - t|) dt dy dx dz, \quad (7)$$

где b, l — размеры в плане рассматриваемого закрепленного грунтового объема (массива), h — его высота, τ — отметка по глубине рассматриваемого объема, ρ_i — расстояние в плане между точками, находящимися в пределах i -го интервала опробования и массива, $z - t$ — расстояние по глубине между указанными точками, z_i — координата по глубине центра i -го интервала опробования.

Окончательные выражения для вычисления σ_{ij} и $\sigma_{i\bar{R}_c}$, которые здесь не приводятся ввиду громоздкости, получаются с использованием известной схемы сведения двумерных интегралов к одномерным («алгорифм Коши») [5, 8] после подстановки в (6) и (7) выражения для корреляционной функции (1).

«Дисперсия распространения» D_δ , при которой оценка $\hat{\bar{R}}_{c,0}$ является оптимальной, определяется выражением

$$D_\delta = \sigma_{\bar{R}_c}^2 - \sum_{i=1}^N \alpha_i \sigma_{i\bar{R}_c} - \mu, \quad (8)$$

$$\text{где } \sigma_{\bar{R}_c}^2 = \frac{8}{blh} \int_0^l \int_0^b \int_0^h (b - y)(l - x)(h - \tau) K(\rho, \tau) dx dy d\tau \quad (9)$$

есть дисперсия величины средней прочности \bar{R}_c рассматриваемого грунтового объема, возникающая за счет различных его положений внутри всего упрочненного основания.

Далее оценка $\hat{\bar{R}}_{c,0}$ принимается в качестве нормативного значения прочности объема, с использованием которой вычисляется по стандарт-

ной формуле [1] его расчетная прочность

$$R_{c,p} = \hat{\bar{R}}_{c,0} - t_\alpha \sqrt{D_\delta}, \quad (10)$$

где t_α — коэффициент, принимаемый по статистическим таблицам в зависимости от расчетного уровня надежности для нормального распределения значений прочности.

Описанная выше схема вычисления расчетной прочности закрепленного массива, как уже отмечалось, будет давать разумные результаты для небольших объемов грунта, поскольку в ней участвует операция осреднения значений прочности. В случае рассмотрения большого массива такое осреднение может привести к получению завышенного значения его расчетной прочности. Поэтому для ее назначения разработана модель возможного разрушения массива, основанная на известных из статистических теорий прочности [1] моделяй «осреднения» и «наиболее слабого звена».

Рассматривается фрагмент массива объемом V , размеры которого в плане совпадают с размерами b и l фундамента, а высота равна толщине закрепленного грунтового массива. Этот объем разбивается на малые объемы v с теми же размерами в плане и высотой $h=0,25b$ [3]. Прочность грунта в пределах малых объемов осредняется, т. е. осуществляется переход от случайной функции $R_c(x, y, z)$ к функции $\bar{R}_c^{(v)}(z)$, дисперсия которой значительно меньше дисперсии исходной функции. Массив рассматривается находящимся в условиях одноосного сжатия ($\sigma_c = \text{const}$), что допустимо, поскольку суммарная эпюра напряжений, дополнительных к природным, и напряжений, возникающих за счет сил нагружающего трения, незначительно отличается от принятой. Некоторое завышение принятых напряжений по сравнению с реальными идет в «запас прочности».

Объем V считается разрушившимся, если в нем «выйдет из строя» хотя бы один объем v , что окажется возможным, если выполнится условие $\bar{R}_c^{(v)} < \sigma_c$. Таким образом, согласно принятой механической модели, разрушение прочности всего массива будет определяться прочностью «наи slabейшего» объема v .

Для иллюстрации изложенной схемы вычисления расчетной прочности закрепленного массива по данным ударно-вращательного зондирования приведем конкретный пример ее использования при анализе результатов исследований закрепленного основания одного из зданий в г. Волгодонске.

По окончании закрепления был вскрыт шурф и обследован с помощью пенетрометра по специально разработанной методике [11]. Результаты пенетрации были использованы для вычисления параметров неоднородности прочностных свойств массива, т. е. \bar{R}_c и $K(\rho, \tau)$.

Аппроксимация оценок корреляционной функции $K(\rho, \tau)$ осуществлялась выражением (1). Входящие в это выражение параметры получили следующие значения: $\hat{\bar{R}}_c^{(v)} = 0,73$ МПа, $\bar{R}_c = 0,70$ МПа, $D = -0,14$ МПа², $\bar{D} = 0,12$ МПа², $\alpha_\rho = 1,1$ м⁻¹, $\tilde{\alpha}_\rho = 11,0$ м⁻¹, $\alpha_\tau = 1,9$ м⁻¹, $\tilde{\alpha}_\tau = 19,0$ м⁻¹. Величины $\bar{R}_c^{(v)}$ и \bar{R}_c были получены осреднением значений прочности, полученных соответственно при зондировании (3 скважины по 18 значений \bar{R}_c) и пенетрации (524 значения прочности) массива.

В закрепленном массиве был выделен объем V_c размерами в плане $b=2,4$ м и $l=6,0$ м и высотой 10,8 м, залегающий под фундаментом. Этот объем разбили на 18 объемов v с $h=0,25b=0,6$ м. Скважины зондирования были пройдены в пределах массива V .

После осреднения значений прочности, полученных при зондировании в пределах каждого объема v , построили график изменения этих значений по глубине $\bar{R}_c^{(v)}(z)$ (рис. 1). Затем вычислили весовые коэффициенты a_i ($i=1, 2, \dots, 54$) каждого из 54 значений прочности грунта

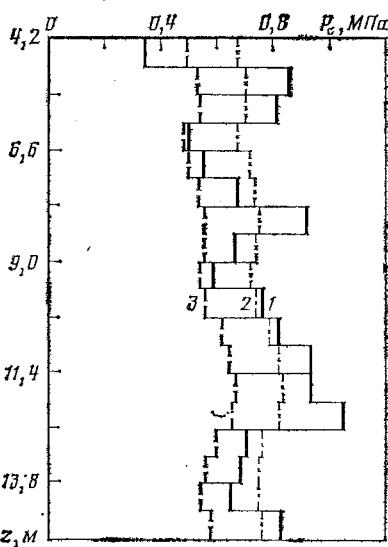


Рис. 1

Рис. 1. Графики изменения значений прочности объемов v с глубиной: 1 — средние значения \hat{R}_c ; 2 — нормативные значения $\hat{R}_{c,0}$; 3 — расчетные значения $R_{c,p}$

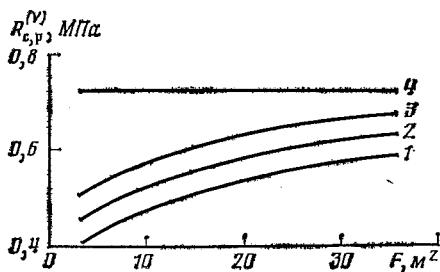


Рис. 2

Рис. 2. Графики изменения прочности массива V в зависимости от площади фундамента F : 1 — расчетная прочность $R_{c,p}^{(V)}$ при надежности 0,99; 2 — то же при надежности 0,95; 3 — то же, при надежности 0,90; 4 — средняя прочность $\hat{R}_c^{(V)}$

как решения системы уравнений (4). После подстановки коэффициентов a_i в (3) получили «оптимальные» оценки прочности $\hat{R}_{c,0}^{(v)}$ каждого объема v и построили график их изменения по глубине. Приняв значения $\hat{R}_{c,0}^{(v)}$ в качестве нормативных, вычислили расчетные значения прочности $R_{c,p}^{(v)}$ (11), предварительно определив минимальную «дисперсию распространения» (8) для каждого объема v . По полученным результатам построили график $R_{c,p}^{(v)}(z)$, на котором нашли наименьшее значение расчетной прочности, равное 0,525 МПа, и приняли его, согласно описанной выше модели разрушения, в качестве расчетной прочности $R_{c,p}^{(V)}$ всего объема V . Это значение было использовано далее для вычисления вертикальной составляющей силы предельного сопротивления N_u основания по известной формуле [9], которая оказалась равной 7780 кН.

Вычисления расчетной прочности основания при различных площадях фундаментов F и уровнях надежности позволили получить графики $R_{c,p}^{(V)}(F)$ (рис. 2), на которых видно, что при обычно используемом уровне надежности 0,99 значения $R_{c,p}^{(V)}$ составляют 40—70% от средней прочности $\hat{R}_c^{(v)}$ основания.

Выводы

1. Для получения наиболее объективных оценок свойств закрепленных массивов необходимо учитывать их неоднородность.
2. В качестве фактического материала можно использовать данные пенетрации и ударно-вращательного зондирования; при этом первые являются исходной информацией для описания неоднородности массивов, а вторые — для назначения расчетной прочности закрепленного основания конкретного фундамента.

3. Предлагаемый метод вычисления расчетной прочности закрепленного основания, основанный на геостатистическом подходе, позволяет учитывать в расчетах случайную пространственную изменчивость грунта, требуемый уровень надежности и площадь фундамента, что повышает достоверность анализа результатов закрепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Болотин В. В.* Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1982. 351 с.
2. *Давид М.* Геостатистические методы при оценке запасов руд. Л.: Недра, 1980. 360 с.
3. *Ильичев В. А., Кулакчин Б. И., Грачев Ю. А. и др.* Использование данных пенетрации и ударно-вращательного зондирования силикатизированных лёссовых суглинков для оценки их расчетной прочности//Проблемы защиты, строительства зданий и сооружений на просадочных грунтах (тез. докл.) Киев, 1987. с. 79—81.
4. *Кивелиди В. Х., Старобинец М. Е., Эскин В. М.* Вероятностные методы в сейсмозондировании. М.: Недра, 1982. 247 с.
5. *Матерон Ж.* Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 407 с.
6. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород в 2 т./Под ред. Сергеева Е. М. 2-е изд., перераб. и доп. Т. 1. М.: Недра, 1984. 438 с.
7. Рекомендации по проектированию закрепленных силикатизацией массивов в лёссовых просадочных грунтах. М.: Стройиздат, 1980. 49 с.
8. *Свешников А. А.* Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 468 с.
9. СНиП 2.02.01—83. Основания зданий и сооружений. Госстрой СССР. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.
10. *Соколович В. Е.* Химическое закрепление грунтов. М.: Стройиздат, 1980. 119 с.
11. *Уляхин О. В., Грачев Ю. А., Кулакчин Б. И., Шейнин В. И.* Оценка прочностных свойств лёссового силикатизированного грунта с использованием пенетрометра//Фундаменты и основания в условиях статического и динамического нагружения. М.: НИИОСП, 1986. Вып. 86. С. 162—168.
12. *Шейнин В. И., Мухеев В. В., Шашкова И. Л.* Статистическое описание неоднородности грунтов основания при случайном расположении слоев//Основания, фундаменты и механика грунтов. 1985. № 1. С. 23—26.

ВНИИОСП

Поступила в редакцию
16.XI.1987

УДК 624.131.5

ТРАЦЕВСКАЯ Е. Ю.

РЕАКЦИЯ СУПЕСЧАНОГО ГРУНТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

При эксплуатации инженерных сооружений, передающих динамические нагрузки на основания, могут происходить объемные деформации обратимого и необратимого характера, а также может изменяться прочность грунта. Это приводит к появлению дополнительных осадок зданий и сооружений, к нарушению их устойчивости, нежелательным деформациям самих зданий и сооружений [1]. Наибольшую опасность при воздействии динамических нагрузок представляет совпадение частот собственных колебаний грунта и возмущающей силы, передающейся через фундамент, т. е. явление резонанса [6].

В настоящей работе рассматриваются резонансные явления, возникающие при вибрационной нагрузке в супесчаных грунтах.

На основе гипотезы общих упругих деформаций [4] при выборе расчетной модели основания принимаем следующие допущения: 1) масса грунта сосредоточена в одной точке и приложена к невесомой упругой пружине с коэффициентом жесткости α , т. е. рассматривается система с одной динамической степенью свободы; 2) существует линейная зависимость между напряжениями и деформациями (соблюдается закон Гука); 3) силы неупругого сопротивления пропорциональны скорости колебания [5].

Математическая модель вертикальных колебаний основания может быть представлена в виде [4, 5]

$$m\ddot{y} + 2K\dot{y} + \alpha y = P(t), \quad (1)$$

где y , \dot{y} , \ddot{y} — амплитуда виброперемещений, скоростей и ускорений виброперемещений; m — масса колеблющегося грунта; K — коэффициент затухания [5]; α — коэффициент жесткости грунта; $P(t)$ — возмущающая сила.

В статических условиях показатели деформационных свойств грунтов определялись в компрессионном приборе КПр-1. При виброкомпрессионном уплотнении грунта для определения этих показателей был использован металлический цилиндр, диаметром 0,152 м и высотой 0,41 м, жестко закрепленный на вибростоле вибрационного электродинамического стенда ВЭДС-400А. Для измерения ускорения виброперемещений (ω_1) использовали два пьезоэлектрических виброизмерительных преобразователя Д-14, установленных в грунте по вертикальной оси цилиндра. Для контроля виброускорений (ω), передаваемых на грунт, на вибростоле также был установлен датчик. Регулировка и контроль параметров вибрационного воздействия на грунт осуществлялись с помощью блоков управления и контроля вибростенда.

Для испытания брали супесь нарушенного сложения со следующими характеристиками: $I_p = 4,5\%$; $I_L = -0,1 \dots 0,1$; $W_p = 13,5\%$; $W_L = 18\%$; $\rho_s = 2,65 \text{ г}/\text{см}^3$; $\rho = 1,71 \text{ г}/\text{см}^3$; $W = 0,13 \dots 0,14$; масса $m = 8 \text{ кг}$. Амплитуда виброперемещений A была постоянной при проведении всех экспериментов и равнялась $0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Частота гармонических колебаний f изменялась от 15 до 105 Гц с интервалом, равным 10 Гц, при этом ускорение ви-

Таблица 1

Значения виброускорений, замеренных в грунте при различных ускорениях возмущающей силы

Частота возмущающей силы f , Гц	Ускорение возмущающей силы ω , м/с^2	Виброускорение, замеренное в грунте ω_1 , м/с^2	
		максимальное — в начале опыта	установившееся
15	2,7	11	10
25	7,4	27	27
35	15	128	118
45	24	188	38
55	36	232	42
65	50	225	43
75	67	206	47
85	85	202,3	43,3
95	107	200	93,3
105	130	214,8	86,46

броперемещений, передаваемое на цилиндр, $\omega = (2\pi f)^2 A$ (табл. 1). Каждый эксперимент проводился в течение 1 ч, а виброускорения (ω_1), возникающие в грунте, измерялись в течение первых 5 мин, через 30 мин и в конце эксперимента; их значения приведены в табл. 1.

Затем кольцами из полевой лаборатории Литвинова отбирали грунт для определения изменения его плотности по высоте цилиндра. В цилиндр помещали новую порцию грунта и повторяли эксперимент для каждого значения виброускорений от 3 до 6 раз.

В результате исследований установлено нарушение прямой зависимости между величиной виброкомпрессионного уплотнения грунта и виброускорением при прочих равных условиях (рис. 1). Это объясняется тем, что при передаче вибрационной нагрузки на грунт в нем возникают ускорения (ω_1), превышающие ускорения возмущающей силы (ω) (см. табл. 1). Причем, ускорения, возникающие в грунте, резко меняются в первые 5 мин опыта (рис. 2, 3). Предполагается, что при этом молекулы связанный воды и ионы диффузного слоя приходят в грунте в движение и теряют ориентацию и связь с твердыми частицами [3]; это приводит к снижению прочности структурных связей или к их разрушению и к нестабильному состоянию грунта. Для этого отрезка времени кривая изменения плотности грунта почти повторяет кривую ускорений (рис. 4). По мере уплотнения грунта происходит сближение структурных элементов, увеличивается число контактов между частицами в единице объема, меняется их характер в результате отжатия связанный воды. Это ведет к возрастанию сопротивления сжатию и переходу грунта в метастабильное состояние. Виброускорения через 30 мин, после начала испытания почти стабилизируются и незначительно изменяются до конца опыта (рис. 5).

Изменение ускорений в грунте связано, на наш взгляд, с наложением возмущающих и собственных колебаний грунта. Поэтому задача, связанная с собственными колебаниями грунта, представляется нам интересной и требующей рассмотрения.

Что такое собственные колебания грунта? Если систему (в том числе грунт) вывести из состояния равновесия приложением некоторой силы P , то система начнет совершать собственные колебания. В зависимости от направления перемещений точек колебания могут быть продольными и поперечными [5]; рассматриваются только продольные (вертикальные) колебания.

Для определения частоты собственных колебаний (φ) воспользуемся формулой [5]

$$\varphi^2 = \frac{1}{\delta_{11m}}, \quad (2)$$

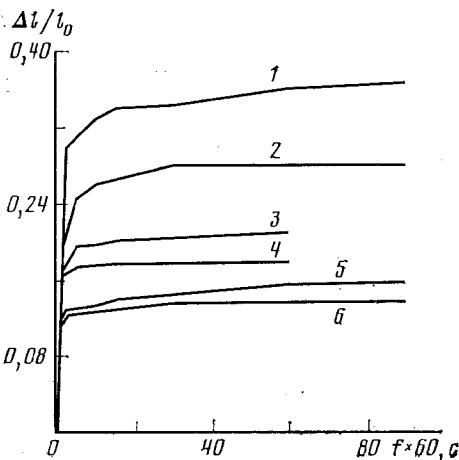


Рис. 1

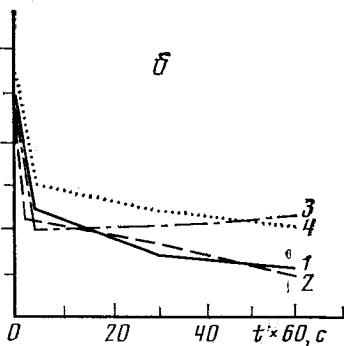
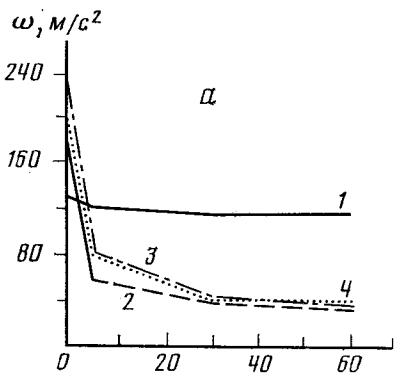


Рис. 2

где δ_{11} — податливость грунта, представляющая собой деформацию грунта от действия на него единичной силы. Податливость δ_{11} — величина, обратная жесткости (уравнение 1).

Для определения податливости δ_{11} воспользуемся интегралом Мора, который в случае вертикальных колебаний примет вид [2]

$$\delta_{11} = \int_0^l \frac{\bar{N}^2 dl}{ES}, \quad (3)$$

где \bar{N} — единичная вертикальная сила; l — высота образца; E — модуль упругости грунта; S — площадь поперечного сечения образца.

Вычислив интеграл по способу Верещагина [2], получим:

$$\delta_{11} = \frac{l}{ES} \quad (4) \text{ или } \alpha = \frac{1}{\delta_{11}} = \frac{ES}{l}. \quad (5)$$

Подставив в уравнение (2) значение податливости δ_{11} , определенное по уравнению (4), получим

$$\varphi^2 = \frac{ES}{lm}. \quad (6)$$

Таким образом, частота собственных колебаний грунта зависит от размеров образца, его массы и модуля упругости грунта. В наших опытах размеры и масса грунта постоянны, следовательно, частота будет

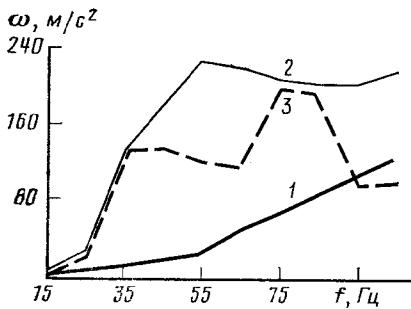


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость виброускорения, возникающего в грунте от частоты возмущающей силы: 1 — виброускорение возмущающей силы; 2 — виброускорение колебаний, замеренные в грунте в начале испытания; 3 — виброускорения, замеренные через 5 мин после начала опыта

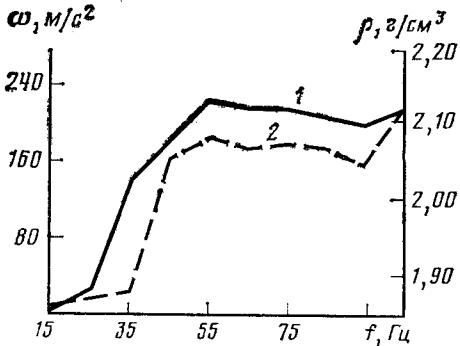


Рис. 4

Рис. 4. Зависимость виброускорений, замеренных в грунте в начале испытаний, и плотности грунта от частоты возмущающей силы: 1 — виброускорения; 2 — плотность грунта

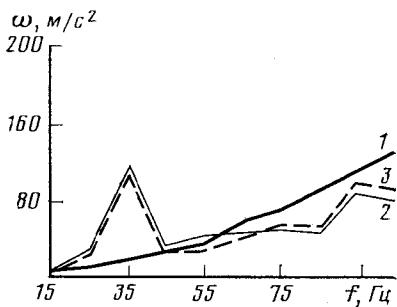


Рис. 5

Рис. 5. Зависимость виброускорения, возникающего в грунте от частоты возмущающей силы: 1 — ускорение возмущающей силы; 2 — ускорения, замеренные через 30 мин после начала испытания; 3 — ускорения, замеренные в конце испытания

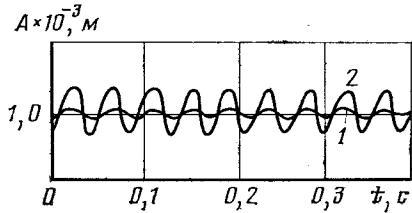


Рис. 6

Рис. 6. Осциллограмма резонансной зоны: 1 — амплитуда перемещений вибростола; 2 — амплитуда перемещений в грунте

зависеть только от модуля упругости грунта. Известно, что для грунтов модули упругости являются переменными показателями, зависящими от величины и продолжительности действия давления [1]. Следовательно, величина собственных колебаний грунта — переменная и зависит от напряженного состояния грунта. Модули упругости E_y , определяемые динамическими методами, больше модулей упругости E [1], определяемых статическими методами. Следовательно, и частоты собственных колебаний, определенные динамическими методами (уравнение 8), должны быть больше частот, определенных статическими методами (уравнение 6).

Частоту собственных колебаний грунта при вибрационных воздействиях можно определить, зная динамический коэффициент μ . В системах с одной степенью свободы динамический коэффициент определяют по формуле [4]

$$\mu = \frac{A_p}{A_{ct}}, \quad (7)$$

Таблица 2

Некоторые параметры исследуемого грунта при различных частотах возмущающей силы

Частота возмущающей силы f , Гц	Замеренная амплитуда виброперемещений грунта A_p , м ⁻³	Осадка грунта при статическом приложении возмущающей силы A_{st} , м ⁻³	Динамический коэффициент μ	Частота собственных колебаний грунта в цилиндре φ , Гц	f/φ	Частота собственных колебаний грунта с учетом сил сопротивления φ_c , Гц	Коэффициент затухания K , с ⁻¹	Податливость грунта δ_1 , с ² /кг
15	0,5	0,125	—	—	—	—	—	—
25	0,945	0,188	—	—	—	—	—	—
35	2,877	1,106	-2,6	30	1,16	29,4	5,87	0,00045
45	0,764	0,628	-1,22	33,3	1,35	32,6	6,52	0,00012
55	0,419	0,502	-0,83	37,0	1,49	36,3	7,25	0,00010
65	0,294	0,502	-0,58	39,4	1,65	38,9	7,72	0,00008
75	0,140	0,264	-0,53	44,05	1,70	43,1	8,63	0,00007
85	0,155	0,376	-0,41	45,00	1,89	44,1	8,81	0,00006
95	0,184	0,552	-0,33	47,2	2,01	46,3	9,24	0,00006
105	0,192	0,954	-0,20	42	2,5	41,2	8,22	0,00007

где A_p — замеренная амплитуда перемещений вынужденных колебаний грунта (табл. 2); A_{st} — осадка грунта при статическом приложении возмущающей силы (табл. 2).

Частоту собственных колебаний определяем по формуле [4]

$$\varphi = f \sqrt{\frac{\mu}{\mu - 1}}. \quad (8)$$

Динамические коэффициенты (μ) и частоты собственных колебаний (φ) приведены в табл. 2. При совпадении частот ($f=\varphi$) наступает явление резонанса и μ обращается в бесконечность. На самом деле этого не происходит из-за сопротивления грунта, которое количественно характеризуется логарифмическим декрементом затухания γ [4]:

$$\gamma = \frac{A_n}{A_{n+1}}, \quad (9)$$

где A_n и A_{n+1} — однозначные амплитуды при двух последовательных значениях времени t_{n+1} и t_n .

Резонансная зона определяется условием [4]

$$0,75 \leq \frac{f}{\varphi} \leq 1,25. \quad (10)$$

В проведенных опытах резонанс наступает при частоте возмущающей силы $f=35$ Гц (рис. 6). С учетом сопротивления грунта уравнение (8) имеет вид [5]

$$\frac{1}{\mu^2} = \left(1 - \frac{f^2}{\varphi^2}\right) + \frac{f^2}{\varphi^2} \frac{\gamma^2}{\pi^2}. \quad (11)$$

В резонансной зоне динамический коэффициент μ принимает максимальное абсолютное значение [5] (см. табл. 2)

$$\mu_{max} = \frac{1}{\frac{\gamma}{2\pi} \sqrt{4 - \frac{\gamma^2}{\pi^2}}}. \quad (12)$$

При частоте возмущающей силы $f=35$ Гц декремент затухания $\gamma=1,23$.

Таблица 3

Сравнение значений $P(t)$ полученных по результатам экспериментов по формуле (1), с заданными значениями

Частота возмущающей силы f , Гц	Значения $P(t)$, полученные по результатам эксперимента, Н	Заданные значения $P(t)$, Н
35	1022,35	1022,4
45	333,31	382,4
55	356,4	414,4
65	362,5	422,4
75	387,7	454,4
85	360,3	424,8
95	765,7	824,8
105	712,3	770,2

Частота собственных колебаний грунта с учетом сил сопротивления (φ_c) определяется по формуле [5]

$$\varphi_c = \sqrt{\varphi^2 - K^2}, \quad (13)$$

где K — коэффициент затухания; $K = (\varphi/2\pi)\gamma$.

Если пренебречь изменениями декремента затухания γ , зависящими от интенсивности вибрационного воздействия, то можно рассчитать значения коэффициентов затухания (K), частот собственных колебаний с учетом сил сопротивления (φ_c) и податливость грунта (δ_{11}). Полученные результаты приведены в табл. 2. При постановке всех необходимых данных (см. табл. 1 и 2) в уравнении (1) получается хорошая сходимость его правой и левой частей (табл. 3).

Выводы

1. Получены значения виброускорений (ω_1), возникающих в грунте в зависимости от ускорений возмущающей силы (ω). Результаты экспериментов показывают, что при частотах от 15 до 55 Гц $\omega < \omega_1$, а при частотах от 65 до 105 Гц $\omega > \omega_1$.

2. Исследован характер изменения во времени значений виброускорений в грунте.

3. Получена зависимость значений плотности грунта (ρ) и виброускорений в грунте (ω_1) от ускорения возмущающей силы (ω).

4. Определены частоты собственных колебаний (φ_c) с учетом напряженного состояния и сил сопротивления грунта.

5. Получены все необходимые параметры для расчета исследованного грунта на динамическое воздействие, произведен его расчет, получена резонансная зона.

ЛИТЕРАТУРА

- Грунтоведение/Под ред. акад. Сергеева Е. М. Изд. 5. М.: Изд-во МГУ, 1983. 389 с.
- Дарков А. В., Шапошников Н. Н. Строительная механика. М.: Высш. шк., 1986. 607 с.
- Иванов П. Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. М.: Высш. шк., 1985. 352 с.
- Красников Н. Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения. Л.: Стройиздат, 1970. 240 с.
- Прокофьев И. П., Смирнов А. Ф. Теория сооружений. Ч. III. М.: Гос. транспортное ж.-д. изд-во, 1948. 243 с.
- Spanget M. G., Hanpdy R. L. Soil engineering./Ed. Harper and Row. N. Y., 1982. 819 p.

УДК 624.131 : 553.434

ДЕГТЯРЁВ Р. А.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выбор рациональной системы разработки месторождения и расчет параметров ее конструктивных элементов базируются на всестороннем учете инженерно-геологических факторов. Специальные инженерно-геологические исследования проводятся уже на стадии предварительной разведки; при детальной разведке они должны выполняться в более крупном масштабе и в большем объеме с привлечением разнообразных методов так, чтобы получаемая информация была достаточной для проектирования горнорудного предприятия. Однако данных детальной буровой разведки часто бывает недостаточно для точной оценки постоянных горно-геологических факторов (особенно таких, как устойчивость руды и вмещающих пород, степень развития структурных ослаблений, напряженное состояние массива горных пород), на основании которых соответствующие инструкции, методические рекомендации и руководства [1, 2, 6] допускают их качественную характеристику. Это создает определенные трудности при проектировании очистной выемки и вызывает необходимость постановки на горнодобывающих предприятиях дополнительных исследований инженерно-геологических условий, процессов и явлений при проведении эксплуатационных работ.

Дополнительный комплекс специализированных инженерно-геологических исследований вместе с данными детальной разведки должен обеспечить получение информации, по содержанию и объему достаточной для составления проектов отдельных выемочных единиц. Эта информация должна удовлетворять ряду требований: 1) полно характеризовать инженерно-геологические условия; 2) иметь количественную оценку наиболее существенных факторов, позволяющую составлять математические модели; 3) без сложных преобразований давать возможность рассчитать параметры системы разработки и прогнозировать проявления горного давления.

Такая информация позволяет составлять инженерно-геологический регламент (ИГР) разработки месторождения (рудного тела, залежи). Инженерно-геологический регламент — это совокупность оценок инженерно-геологических свойств массива горных пород и их изменений в пространстве, необходимых и достаточных для однозначного выбора расчетной модели конструктивных элементов системы разработки. Главной составной частью регламента является карта инженерно-геологического районирования, построенная на структурно-тектонической основе с количественной оценкой интенсивности развития основных инженерно-геологических показателей (в том числе устойчивость горных пород), с выделением частей месторождения (залежи, рудного тела); различающихся комплексом неблагоприятных факторов; с расчетными моделями конструктивных элементов системы разработки.

В пояснительной записке ИГР приводятся: 1) горно-геологическая характеристика месторождения (залежи, рудного тела); 2) оценка возможности проявления неблагоприятных инженерно-геологических процессов и явлений, влияющих на эффективность и безопасность разработки; 3) основные параметры, необходимые для расчета конструктивных

элементов системы разработки; 4) рекомендации по составу дополнительных инженерно-геологических определений в процессе подготовительных, нарезных и очистных работ.

Подобные инженерно-геологические регламенты составлены нами для рудных залежей Джезказганского месторождения медиистых песчаников и находятся на стадии внедрения. Разрез продуктивной толщи месторождения представлен ритмичным чередованием сероцветных и красноцветных пород: песчаников, аргиллитов, алевролитов, конгломератов и разделен на девять полициклических горизонтов. Оруденение многоярусное, локализовано в сероцветных песчаниках и конгломератах, между пластиями сложены красноцветными породами. В зависимости от характера распределения оруденения в кровле и почве горных выработок могут залегать все типы пород.

Рудоносная толща месторождения полого, под углами 3—10° погружается на юг и юго-запад. Залегание пород осложнено рядом субпараллельных флексур северо-восточного простирания. Они относятся к неоднородностям первого структурного уровня, которые ограничивают блоки I порядка: антиклинали, синклинали, блок-ступени.

Зоны флексур характеризуются интенсивным развитием трещиноватости, зон дробления, мелкоблоковым строением. На межфлексурных участках — в блоках I порядка — развиты структурные неоднородности второго, третьего и четвертого уровней.

Неоднородности второго структурного уровня представлены крупными протяженными зонами трещиноватости и дробления (размером в первые сотни метров по простиранию и падению), локальными малоамплитудными флексурными перегибами и синклинальными складками II порядка. Они ограничивают блоки II порядка.

Неоднородности третьего структурного уровня — это малоамплитудные складки высоких порядков, зоны трещиноватости и дробления протяженностью в десятки метров.

Неоднородности четвертого структурного уровня представлены отдельными трещинами. Выделены шесть систем трещин [4], среди которых преобладают крутопадающие трещины северо-восточного простирания, параллельные флексурам, и пологопадающие внутри- и межслоевые трещины. Пересечением трещин различных систем вычленяются элементарные структурные блоки (ЭСБ), имеющие форму неправильных многоугольников с размером сторон от 0,1 м до 2,0 м. Минимальные их размеры характерны для флексур и прифлексурных зон, участков повышенных углов падения пород, перегибов слоев, зон трещиноватости, дробления и мелкой складчатости.

В целом для месторождения характерна структурная анизотропия. Ее индикаторисса имеет вид трехосного эллипсоида, большая ось которого ориентирована перпендикулярно флексурам, средняя — по вертикали, а меньшая — параллельно флексурам. Структурная анизотропия накладывает отпечаток на особенности поля естественных напряжений. Эллипсоид природного поля напряжений ориентирован перпендикулярно индикаториссе структурной анизотропии при одинаковом расположении их средних осей. По данным Ю. И. Чабдаровой [8], главная ось эллипсоида напряжений расположена горизонтально, ориентирована в субмеридиональном направлении параллельно флексурам и имеет максимальные значения в антиклиналях; средняя ориентирована по вертикали, меньшая расположена горизонтально, перпендикулярно флексурам.

Месторождение разрабатывается различными вариантами камерно-столбовой системы, главными конструктивными элементами которой являются барьерные и междукамерные целики (МКЦ) и камеры. Горное давление проявляется шелушением и разрушением МКЦ, отслоениями и обрушениями кровли выработок с образованием куполов, а иногда и с выходом обрушений на дневную поверхность.

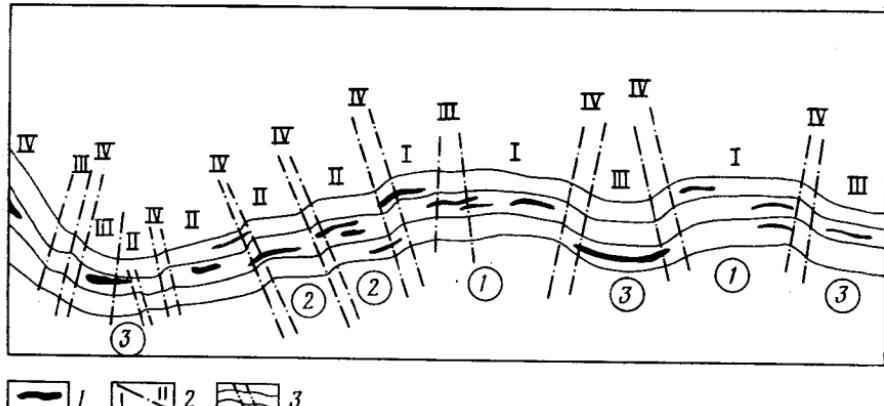


Рис. 1. Схема структурного районирования Джезказганского месторождения (разрез) 1 — рудные залежи; 2 — номера и границы структурных типов (блоков); 3 — флексуры (структурный тип IV). Цифры в кружках: 1 — антиклинали; 2 — блок-ступени; 3 — синклинали

Инженерно-геологический регламент составляется в две стадии:
1) структурное районирование месторождения; 2) инженерно-геологическое районирование рудных залежей.

Первая стадия направлена на разделение массива горных пород на блоки как на части геологической структуры, сложенные породами одного геологического комплекса, но отличающиеся дислоцирован-

Таблица 1
Типизация структуры Джезказганского месторождения

Структурный тип	Структура	Горно-геологическая характеристика
I	Антиклинали	Пологое ($\alpha < 10^\circ$) залегание пород, высокие значения горизонтальных напряжений, особенно в купольных частях ($\sigma_3 = 2 - 7 \gamma H$), широкое развитие зон дробления северо-восточного ($40 - 60^\circ$) и субмеридионального простирания; проявления горного давления в виде отслоений, заколов, обрушений на участках развития локальных флексурных перегибов, синклинальных складок более высоких порядков и крупных зон дробления; устойчивость кровли на тектонически спокойных участках
II	Пологие крылья синклиналей, блок-ступени	Пологое залегание пород, низкие значения горизонтальных напряжений ($\sigma_3 = 1,5 - 2 \gamma H$), вертикальные напряжения не превышают γH , развитие складок высоких порядков; отслоения и куполение кровли, разрушение МКЦ в зонах интенсивной трещиноватости и расслоенности
III	Ядра синклиналей и их крылья с наклонным залеганием пород ($\alpha = 10 - 20^\circ$)	Повышенные углы падения, низкие значения горизонтальных напряжений, σ_1 достигает $1,3 \gamma H$, интенсивная трещиноватость и расслоенность, мелкоблоковое строение; неустойчивая кровля; разрушение МКЦ
IV	Зоны флексур, крутые крылья синклиналей ($\alpha > 20^\circ$)	Интенсивная трещиноватость, зоны дробления и разрывные нарушения, крутые углы падения, мелкоблоковое строение, минимальные значения горизонтальных напряжений, массив горных пород неустойчив, камерно-столбовая система разработки неприменима

нностью, интенсивностью трещиноватости, характером естественного поля напряжений и проявлений горного давления. В работе [8] показано, что устойчивость кровли, природное поле напряжений зависят от вида и формы складок. Наиболее напряженными являются сводовые части пологих антиклиналей; во флексурах и в синклинальных складках напряжения минимальны. При отработке залежей в антиклинальных структурах кровля устойчива при гораздо большей площади обнажения, чем в синклиналях, так как боковое давление способствует уменьшению ее прогибов.

В синклинальных структурах вертикальная составляющая естественного поля напряжений иногда превышает величину γH , боковое давление усиливает деформирование слоев на изгиб, способствуя расслоению и обрушению пород кровли и целиков, особенно в выработках, ориентированных в широтном направлении, перпендикулярном направлению максимальных горизонтальных напряжений. Здесь на глубинах, превышающих 300 м, даже в штреках самопроизвольно обрушаются горизонтальные и сводчатые кровли и формируется клиновидная кровля (выработки шахт 67, 73—75).

Учитывая это, в пределах месторождения выделены структурные единицы (типы или блоки), различающиеся по горно-геологическим условиям (рис. 1, табл. 1). При расчетах параметров конструктивных элементов системы разработки эти различия предлагаются фиксировать введением в соответствующие формулы коэффициента K_p к величине γH , значения которого составляют: для I типа — 0,9, для II типа — 1,0, для III типа — 1,2.

Приведенные в табл. 1 структурные типы показываются на планах рудных залежей. При инженерно-геологическом районировании в пределах I—III структурных типов выделяются участки, различающиеся по сложности инженерно-геологического строения, которая оценивается по комплексу инженерно-геологических факторов, влияющих на технологию добычи и устойчивость массива горных пород.

ИГР включает: глубину залегания, мощность, угол падения рудных залежей, литологический состав и прочностные свойства рудовмещающих пород, мощность и литологический состав подстилающих, перекрывающих пород и междуупластий, наличие в рудных телах ослабляющих прослоев, интенсивность трещиноватости, развитие складчатости высоких порядков. Достаточно высокая степень изученности [4, 5, 8] позволила нам [3] дать количественную оценку основным литологическим и структурным факторам и представить их в виде интегрального коэффициента K прочности пород в образце, определяемого из выражения:

$$K = K_k K_{np} K_{bp} K_c,$$

где K_k , K_{np} , K_{bp} , K_c — коэффициенты, отражающие соответственно условия на контактах МКЦ, влияние на устойчивость МКЦ прослоев слабых пород, ослабление тела МКЦ при выполнении буровзрывных работ и коэффициент структурного ослабления.

Значения коэффициентов определены экспериментально для различных горно-геологических условий. Эти же коэффициенты входят в формулы расчета размеров барьерных и междукамерных целиков. Как показано в работе [3], они без особого труда определяются по геологической документации буровых скважин.

K_{np} вычисляется по формуле

$$K_{np} = 1 - 0,7 \sqrt{\frac{2\Sigma m}{h}},$$

где Σm — суммарная мощность слабых прослоев в теле МКЦ, м; h — высота МКЦ, м.

$K_{\kappa}=0,7$, если в почве и (или) кровле МКЦ опираются на красноцветные породы, в остальных случаях $K_{\kappa}=1$.

$K_{бвр}$ принимает значения при мощности залежи до 8 м (однослоевая выемка) — 0,95; от 8 до 18 м (двухслойная выемка) — 0,85.

Перемножением этих коэффициентов определяется литологический коэффициент — K_{π}

$$K_{\pi} = K_{\text{пр}} K_{\kappa} K_{бвр}.$$

Значения K_{π} выносятся на планы рудных залежей и служат основой для построения карт литологического районирования, на которых показываются: изолинии значений K_{π} , зоны с $K_{\pi}=0,7$ и участки, где в кровле залегают красноцветные породы.

Коэффициент K_c принимает два значения: — 0,4 на участках мелкоблочного строения, где размер ЭСБ менее 0,6 м; — 0,63 на участках простого тектонического строения, где размер ЭСБ более 0,6 м.

Непосредственными замерами в подземных горных выработках установлено, что ЭСБ имеет размер менее 0,6 м на тех участках, где рудная залежь на интервале в 10 м пересечена не менее чем четырьмя крутопадающими трещинами, или на 10 м мощности залежи приходится не менее трех крупных трещин расслоения. Такая интенсивность трещиноватости характерна для флексур, прифлексурных участков шириной до 100 м по обе стороны от них, зон дробления и трещиноватости второго и третьего структурных уровней, для ядер пликативных структур и участков повышенных (более 10°) углов падения пород.

Значения K_c выносятся на планы рудных залежей, здесь же строятся гипсометрические планы кровли, показываются флексуры, прифлексурные участки, зоны интенсивной трещиноватости, локальные флексурные перегибы, синклинали II и более высоких порядков, участки развития мелкой складчатости и оконтуриваются зоны мелкоблочного строения, где $K_c=0,4$. Эта информация составляет содержание карт структурного районирования.

На картах инженерно-геологического районирования залежей (рис. 2) сложность инженерно-геологического строения отображается посредством интегрального коэффициента K , значения которого определяются путем перемножения величин K_{π} и K_c . Сопоставление величин K , определенных для одних и тех же пересечений по данным разведочного бурения и очистных работ, показали их удовлетворительную сходимость (коэффициент корреляции 0,57).

Помимо величин K , на этих картах показываются 1) флексуры, прифлексурные зоны, неоднородности второго и третьего структурных уровней; 2) области неустойчивой кровли и повышенных углов падения пород: 10—20° и более 20°; 3) весьма сближенное по вертикали (менее 10 м) залегание рудных тел.

Эта информация служит основой для выделения участков, различающихся по сложности инженерно-геологического строения, классификация которых приведена в табл. 2. В I и II структурных типах выделяются участки простого и сложного инженерно-геологического строения. К сложным отнесены те из них, где $K < 0,3$ [3]. Обычно они характеризуются сочетанием следующих факторов: интенсивной трещиноватостью ($K_c=0,4$), развитием красноцветных пород в почве и (или) кровле залежи ($K_{\kappa}=0,7$), обилием прожилков кальцита или наличием ослабляющих прослоев ($K_{\text{пр}} < 0,9$), повышенной мощностью рудной залежи ($K_{бвр} = 0,85$). Для III типа структуры принято сложное инженерно-геологическое строение.

Пояснительная записка инженерно-геологического регламента содержит информацию о значениях частных коэффициентов по каждой разведочной скважине и другие сведения, необходимые для расчета элементов системы разработки. Даются характеристика проявленным неблагопри-

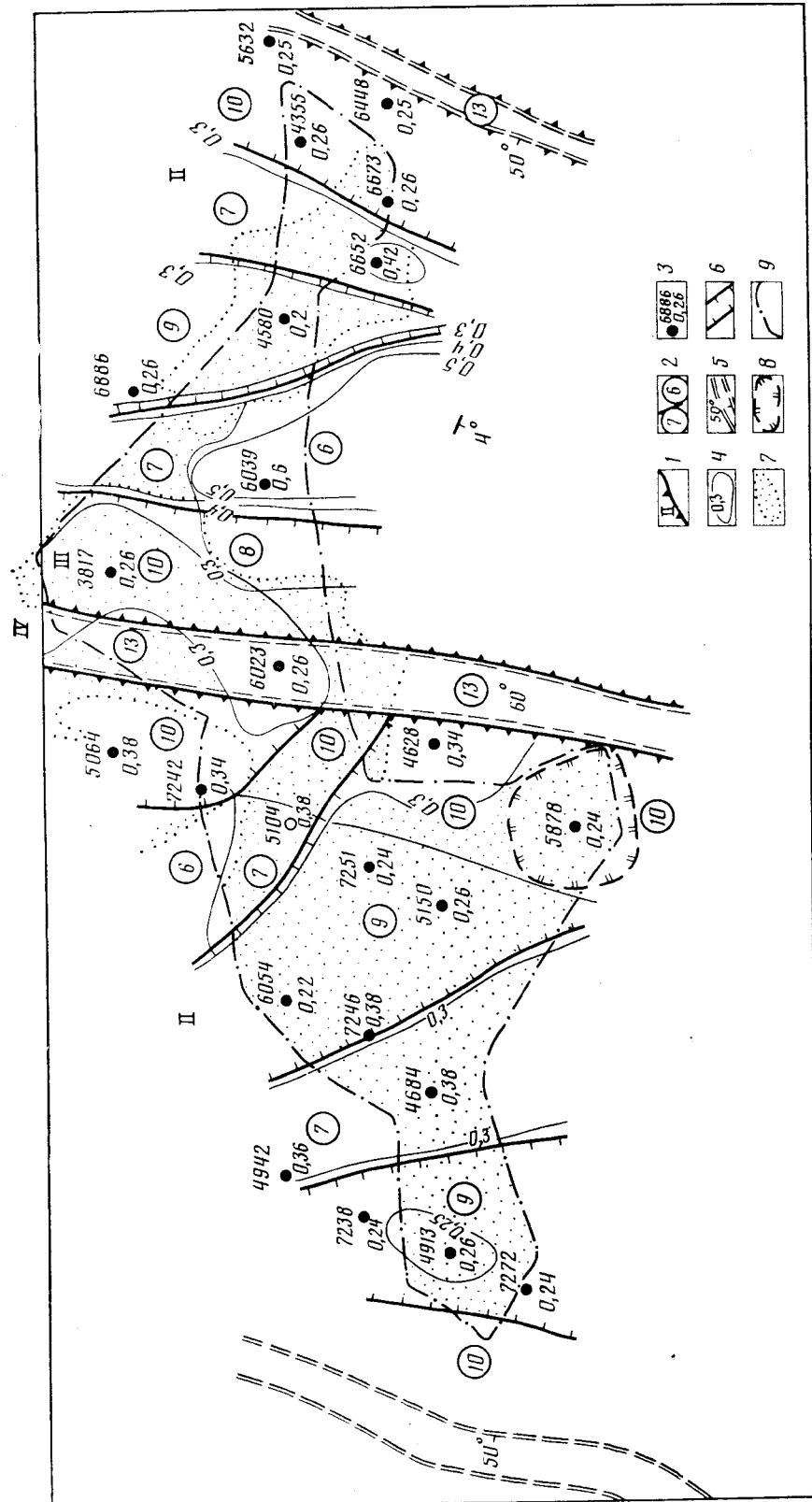


Рис. 2. Фрагмент карты инженерно-геологического районирования залежи АС-9-1 Джазказганского месторождения. 1 — структурный тип и его границы; 2 — границы и номера участков, различающихся по сложности инженерно-геологического строения; 3 — номер разведочной скважины и значение интегрального коэффициента К; 4 — изолинии значений К; 5 — флексуры; 6 — контуры зон трещиноватости; 7 — площасти развития крашеноцветов в кровле и (или) почве; 8 — весьма сближенное расположение залежей; 9 — контуры рудного тела

Таблица 2

Типизация участков по сложности инженерно-геологического строения

Значение K	Инженерно-геологическая характеристика
$>0,45$	Структурный тип I (антиклинали) Простое инженерно-геологическое строение. Низкая интенсивность трещиноватости, почва и кровля сложены сероцветами, $K_{\text{пр}} < 0,9$, пологие углы падения ($\alpha < 10^\circ$)
$0,28-0,45$	То же, отличается развитием красноцветов в почве и (или) кровле ($K_k = 0,7$)
$0,26-0,4$	То же, отличается интенсивной трещиноватостью ($K_c = 0,4$), наличием мелкой складчатости, $K_k = 1,0$
$0,25$	Сложное инженерно-геологическое строение. Интенсивная трещиноватость ($K_c = 0,4$), красноцветы в почве и (или) кровле ($K_k = 0,7$), обилие ослабляющих прослоев ($K_{\text{пр}} = 0,6-0,9$)
$0,22$	Положение в прифлексурных зонах и в локальных флексурах, весьма сближенное расположение залежей
$>0,45$	Структурный тип II (пологие крылья синклиналей, блок-ступени) Простое инженерно-геологическое строение, пологие углы падения ($\alpha < 10^\circ$)
$0,3-0,45$	То же, отличается развитием красноцветов в почве и (или) кровле ($K_k = 0,7$)
$0,30-0,4$	То же, $K_k = 1$, интенсивная трещиноватость ($K_c = 0,4$), обилие ослабляющих прослоев ($K_{\text{пр}} < 0,9$)
$0,30$	Сложное инженерно-геологическое строение: $K_c = 0,4$; $K_k = 0,7$; $K_{\text{пр}} < 0,9$
$0,22$	Прифлексурные зоны, складчатость высоких порядков, весьма сближенные залежи независимо от величины частных коэффициентов
$0,25-0,4$	Структурный тип III (ядра синклиналей и их наклонные крылья) Наклонное залегание пород ($\alpha = 10-20^\circ$), $K_c = 0,4$; $K_k = 1,0$, $K_{\text{пр}} = 0,6-1,0$
$0,22$	То же, при $K_k = 0,7$, весьма сближенное расположение залежей, прифлексурные зоны

ятным факторам и рекомендации по детализации инженерно-геологических исследований при выполнении горных работ.

В целом инженерно-геологический регламент содержит все необходимые сведения для составления проектов разработки месторождения или отдельных его частей, участков. Он позволяет исключить неопределенность оценки сложности инженерно-геологических условий разработки месторождений, привносимую качественными показателями устойчивости, облегчает работу проектировщиков и создает благоприятную возможность применения ЭВМ для расчета параметров системы разработки.

ЛИТЕРАТУРА

- Гамалей Б. М. и др. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при их разведке. М.: Недра, 1977. 143 с.
- Голодковская Г. А., Демидюк М. М., Шаумян Л. В. Методические рекомендации к составлению инженерно-геологических карт при разведке месторождений полезных ископаемых. М.: Изд-во МГУ, 1983. 48 с.

3. Дегтярев Р. А., Байбатчаев А. Б., Чабдарова Ю. И. Особенности инженерно-геологического районирования месторождения Джезказган//Инж. геология, 1985. № 5. С. 73—77.
4. Дегтярев Р. А., Себелова Б. О., Бесимбаева О. Г. Трециноватость рудовмещающих пород Джезказганского месторождения и ее влияние на устойчивость кровли горных выработок//Совершенствование маркшейдерской службы на горных предприятиях. Караганда: Изд-во Караганд. политех. ин-та, 1982. С. 97—101.
5. Ерофеев Н. П. Устойчивость целиков и потолочин на рудниках Джезказгана. Алма-Ата: Наука, 1979. 94 с.
6. Скворцов Г. Г., Бобров Н. Г., Кориковская А. К. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых при их разведке. М.: Недра, 1975. 52 с.
7. Чабдарова Ю. И. Временная инструкция по расчету целиков при камерно-столбовой системе разработки с барьерными целиками для пологопадающих и наклонных залежей Джезказганского месторождения. Алма-Ата: Изд-во ИГД АН КазССР, 1984. 78 с.
8. Чабдарова Ю. И., Жужгов Ю. В., Букин А. Н. Горное давление в антиклинальных структурах Джезказгана. Алма-Ата: Наука, 1980. 195 с.

Джезказганский филиал Карагандинского
политехнического института

Поступила в редакцию
19.V 1986

УДК 624.131

МАТВЕЕВ Ю. Д.

О ПОЛОЖЕНИИ ГИПЕРГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ОБЩЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ

В течение пяти лет при инженерных изысканиях для строительства используется ГОСТ 25100-82 [2], регламентирующий обязательное применение общей инженерно-геологической классификации грунтов.

В ГОСТ 25100-82 классы грунтов выделены по характеру структурных связей (с жесткими и без жестких связей или скальные и нескальные), группы — по происхождению (генетическое подразделение первого порядка), подгруппы — по условиям образования (генетическое подразделение второго порядка), типы — по составу, виды — по особенностям строения и другим признакам, разновидности — по особенностям свойств и состоянию грунтов.

Элювиальные образования и почвы отнесены в этой классификации к группе осадочных несцементированных грунтов в классе грунтов без жестких структурных связей.

При этом элювиальные образования наряду с осадочными грунтами различного генезиса включены в три подгруппы: крупнообломочных, песчаных, пылеватых и глинистых грунтов, а почвы — в отдельную подгруппу. Во-первых, тем самым утверждается, что почвы отличаются по условиям формирования от любых осадочных грунтов, а элювиальные образования — сходны с ними. Во-вторых, предусматривается, что выделение типов, видов и разновидностей элювиальных образований может производиться по тем же признакам-основаниям, что и осадочных грунтов. Правомерность первого положения будет рассмотрена ниже.

Опыт использования ГОСТ 25100-82 при классифицировании элювиальных образований показал, что этот стандарт не учитывает такие важные особенности элювиальных песчаных и пылевато-глинистых грунтов, как наличие среди них прочноструктурных (сапролиты) и слабоструктурных разностей, как наличие среди крупнообломочных грунтов разностей с различной степенью выветрелости обломков и др.

В то же время прочность структурных связей для песчаных элювиальных грунтов является более значимым признаком-основанием, чем плотность сложения, а для пылевато-глинистых грунтов — чем наличие включений, свойства крупнообломочных элювиальных грунтов в большей степени зависят от степени выветрелости обломков — признака, вообще не используемого в ГОСТ 25100-82. Поэтому авторы главы СНиП 2.02.01-83 [8] в «Пособии» к этой главе [7] предложили другую классификацию элювиальных образований, представленную в виде набора частных классификаций.

Эту классификацию можно суммировать в виде, приведенном в табл. 1, где для сравнения также дана соответствующая часть классификации ГОСТ 25100-82.

В классификации «Пособия» [7] устранены недостатки ГОСТ 25100-82, но одновременно предусмотрено выделение трех видов элювиальных грунтов в классе грунтов с жесткими структурными связями (скальных грунтов), целесообразность которого вызывает сомнения.

Таблица 1

Классификации элювиальных грунтов

По «Методике» [7]						По ГОСТ 25100-82 [2]			
класс	группа	подгруппа	тип	вид	группа	подгруппа	тип	вид	
Скальные	Элювиальные	—	Выделяются как типы магматических, метаморфических и осадочных элементированных грунтов	Выделяются по степени выветрости: слабовыветрелые, выветрелые, сильновыетрелые (рухляки) [7, табл. 113]	Скальные	—	—	Не выделяются	
Нескальные	Элювиальные	Крупнообломочные	По гранулометрическому составу: глыбовые, щебенистые, щебенисто-древесные, древесные.	По степени выветрелости обломков: невыветрелые, слабовыветрелые, сильновыетрелые, [7, табл. 116]	Нескальные	Осадочные несементированные	Крупнообломочные	Выделяются по гранулометрическому составу: глыбовые, щебенистые, древесные	
	Песчаные		По гранулометрическому составу: дресвянистые, крупные, средней крупности, мелкие, пылеватые	По прочности структурных связей: прочностно-структурные (сапролиты), слабоструктурные	Песчаные	По гранулометрическому составу, гравелистые, крупные, средней крупности, мелкие, пылеватые	1. По плотности сложения 2. По содержанию органических веществ	1. По наличию включений 2. По содержанию органических веществ	
			По числу пластичности: супеси, суглинки, глины	То же		Пылеватые и глинистые	По числу пластичности: супеси, суглинки, глины		

В результате изыскатели-производственники получили две принципиально отличные классификации, которые являются обязательными к применению, так как одна включена в ГОСТ 25100-82 [2], а на второй основывается нормативный документ — СНиП 2.02.01-83 [8].

Следствием такого положения становятся осложнения при выполнении изысканий.

Можно полагать, что появление второй классификации является результатом несовершенства ГОСТ 25100-82, вытекающим из необоснованного включения элювиальных образований в группу осадочных несцементированных грунтов.

В самом деле, элювиальные грунты — это продукты преобразования пород любого происхождения, образовавшиеся под воздействием агентов выветривания и оставшиеся на месте своего образования. Элювием являются продукты выветривания, которые никогда не переотлагались и, следовательно, не являются осадочными грунтами.

Это принципиальное отличие элювиальных образований от любых осадочных грунтов должно в соответствии с основным положением генетического грунтоведения определять особенности условий их залегания, состава, строения и свойств, отличные от таковых у грунтов осадочного происхождения.

Очевидно, что при существенности таких различий элювиальные и осадочные грунты должны быть отнесены к разным классификационным группам.

Особенности распространения и условий залегания элювиальных образований приведены в табл. 2, из которой следует, что эти образования, а также почвы, действительно по указанным признакам резко отличаются от грунтов любого другого генезиса; более того, среди осадочных отложений нет ни одного генетического типа, который обладал бы набором признаков, указанных в этой таблице. Состав, строение и свойства элювиальных образований детально охарактеризованы в монографии Л. А. Ярг [9], в которой сделан вывод, что результатом выветривания «... является структурированный, имеющий зональное строение, генетический тип пород» [9, с. 231], обладающих своеобразными составом, структурными связями и свойствами.

Следует отметить, что и ранее, на основе обобщения опыта проектирования и строительства, элювиальные образования относились к грунтам с особыми свойствами из-за наличия остаточных структурных связей, резкой изменчивости прочностных и деформационных свойств по площади и глубине, большой пористости, просадочности отдельных разностей и др.

Вследствие этого в главе СНиП 2.02.01-83 [8] были сформулированы особые требования к проектированию оснований зданий и сооружений на элювиальных грунтах, а в «Пособии» [7] приведена специальная таблица нормативных значений показателей свойств элювиальных песчаных и пылевато-глинистых грунтов с резко отличными значениями показателей по сравнению с аналогичными таблицами СНиП 2.02.01-83. Из сопоставления этих таблиц следует, например, что при одинаковом коэффициенте пористости сцепление слабоструктурных элювиальных грунтов больше, чем грунтов аллювиального, делювиального, озерного, флювиогляциального, ледникового генезиса: для песков пылеватых в 6—15 раз, для супесей в 4—13, для суглинков в 1,5—2,5 раза (при сходных углах внутреннего трения), причем разница возрастает с ростом коэффициента пористости грунтов.

Обратим внимание на то, что в отличие от подхода ГОСТ 25100-82 геологи, геохимики, специалисты по корам выветривания различают остаточные (элювий) и переотложенные продукты выветривания, вплоть до утверждений, что понятия «осадочная порода» и «элювий» являются

Таблица 2

Распространение и условия залегания элювиальных образований и почв

Особенности формирования	Элювиальные образования		Почвенные образования
	химического выветривания	физического выветривания	
Расположение в разрезе литосферы	Приурочены к поверхностной части литосферы		
Расположение на поверхности земли	Характерна выраженная географическая зональность распространения Преобладают в зонах с теплым и влажным климатом	Преобладают в зонах с холодным или сухим климатом	В зонах с различным климатом формируются разные типы почв
Приуроченность к геоморфологическим элементам	Развиты на различных элементах рельефа, отличаясь в пределах отдельных элементов по мощности, строению и глубине изменения исходных пород в зависимости от возраста рельефа, скорости сноса материала, гидрогеологических и других условий		
Приуроченность к породам	Развиты на породах различного генезиса и состава, отличаясь по составу, строению и мощности в зависимости от исходных пород, их тектонической нарушенности и т. д.		
Строение профиля	Имеют зональное строение с закономерно построенным профилем и характеризуются увеличением степени изменения пород вверх по разрезу; границы между горизонтами часто неровные, с выступами и карманами или с постепенными переходами между ними и к исходным породам		
Преобладающие процессы и характер изменения исходных пород	Химические процессы: гидратация, выщелачивание, гидролиз, окисление и др. с образованием новых минералов	Физические процессы: колебания температур и влажности, промерзание—протаивание и др.; дезинтеграция пород	Биологическая деятельность и химические процессы почвообразования, накопление органических веществ
Взаимоотношения со средой	Процессы протекают до достижения динамического равновесия со средой, при изменении среды процессы протекают до достижения нового равновесия. Характер и интенсивность процессов зависят от климатических условий		

взаимно исключающими [6, с. 49]. В типологиях месторождений полезных ископаемых месторождения осадочных пород и кор выветривания относятся ими к разным типам, требующим различных подходов при поисках и разведке [5].

Точно так же различные подходы требуются при инженерно-геологических изысканиях в районах развития осадочных и элювиальных грунтов.

Кроме того, при применении классификации ГОСТ 25100-82, например, приходится относить к осадочным грунтам глыбы и щебень, образовавшиеся в результате выветривания изверженных пород, хотя в этом случае не являются осадочными не только сами элювиальные образования, но и исходные породы. А учитывая, что в корах выветривания обычны постепенные переходы от исходных пород к элювию, приходится рассматривать в этих случаях закономерности постепенного перехода изверженных пород в осадочные.

Изложенное позволяет предложить в общей инженерно-геологической классификации грунтов выделить, наряду с группой осадочных несцементированных грунтов, также отдельную группу, включающую элювиальные образования.

К этой же группе должны быть отнесены почвенные образования, которыми, по классическому определению В. В. Докучаева, являются «наружные горизонты горных пород, естественно измененные совместным

влиянием воды, воздуха и различного рода организмов живых и мертвых».

Почвообразовательные процессы тесно связаны с процессами выветривания, их трудно отделить один от другого, а особенности почвообразования определяются преобладающим развитием биологических и биохимических процессов. Не случайно среди геохимиков возникали дискуссии о том, являются ли коры выветривания древними почвами или, несмотря на тесную связь процессов их образования, химическое выветривание следует отличать от почвообразования, так как выветривание проходит в среде, почти лишенной органических частей [1, 6]. В то же время практически всегда в момент формирования кор выветривания их верхним горизонтом является почва. Добавим, что в этом случае речь также идет об образованиях, формирующихся вне процесса осадконакопления, и более того, развитие которых подавляется, если на территории начинается интенсивное накопление осадков. В случаях, когда почвы формируются на элювии изверженных пород, осадочными не являются и материнские породы.

Принадлежность элювиальных и почвенных образований к единой по происхождению группе подтверждается также сходством условий распространения (см. табл. 2) и аналогичным строением их профилей (табл. 3).

Предлагать новое наименование для образований этой группы нет необходимости. В 1922 г. А. Е. Ферсман выделил, наряду с нормальными осадочными, диагенетическими и катагенетическими процессами, также процессы поверхностного выветривания (в том числе почвообразования) — гипергенеза.

Образования, сформировавшиеся под воздействием последних, с тех пор называют гипергennыми.

В группе гипергенных образований могут быть выделены подгруппы элювиальных образований и почв (табл. 4), отличающихся по условиям образования.

В связи с созданием общей инженерно-геологической классификации грунтов требует решения вопрос об объеме понятия «элювиальные образования», в частности о правомерности отнесения к элювию в разной степени выветрелых скальных грунтов.

Как показано выше, существует два различных мнения по этому вопросу. Авторы ГОСТ 25100-82 [2] к элювиальным относят только нескальные грунты, тогда как авторы «Пособия» [7] элювиальными считают также слабовыетрелые, выветрелые и сильно выветрелые скальные грунты (см. табл. 1).

Согласно представлениям геологов и геохимиков скальные материнские породы различной степени выветрелости к элювию не относятся. Характерной иллюстрацией такого подхода может служить схема геохимических зон коры выветривания И. И. Гинзбурга [1, с. 92], в которой к элювию отнесены только не скальные породы или прошедшие при выветривании этап превращения в не скальную породу (табл. 3).

Подход геологов, геохимиков и авторов ГОСТ 25100-82 представляет более правомерным.

Считать продуктами выветривания (элювием) скальные грунты, в разной степени затронутые процессами выветривания, нет оснований, так как их состав, характер структурных связей и пр. определяются другими процессами. Поэтому они должны рассматриваться как в разной степени выветрелые магматические, метаморфические или осадочные сменявшиеся грунты до того момента, пока нарастающие в процессе выветривания изменения не переведут их в качественно иную категорию — грунтов без жестких структурных связей.

Вопрос об элювиальных образованиях, которые вновь превращаются в скальные грунты в результате вторичной цементации, требует специального рассмотрения.

Таблица 3

Преобладающие процессы и строение профилей кор выветривания и почв

А. Коры преимущественно физического выветривания зоны (при пылевато-глинистом составе исходных пород *)	Б. Коры преимущественно химического выветривания		В. Почвы
	зоны (по И. И. Гинзбургу [1])	горизонты подзолистых почв *	
по составу и состоянию об разований (по Н. В. Коломенскому)	по преобладающим процессам	по составу и состоянию образований	по преобладающим процессам
Очень больших амплитуд колебаний температур и влажности при больших градиентах, промерзания — протравления, увлажнения — высыхания, окисления и др.	IV. Тонкораздробленная порода, в основном состоящая из минералов выветривания	Интенсивного окисления и конечного гидролиза	Гумусово-аккумулятивный
Больших амплитуд колебаний температур и влажности при средних градиентах, промерзания — проплавления, увлажнения — высыхания, окисления, выщелачивания и др.	III. Обломки с пылевато-глинистым заполнителем, новообразованные минералы, следы окисления	Конечного гидратации, развития выщелачивания, начала окисления	Гидратации, выщелачивания, аккумуляции веществ, выносимых из горизонта A
Незначительных амплитуд колебаний температур и влажности при малых их градиентах, спорадического промерзания — протравления, окисления и гидратации вдоль трещин	II. Глыбы, химико-минералогический состав исходных пород в основном не изменен	Гидратации силикатов, начала выщелачивания, преобладания физического выветривания	C — почвообразующая порода, слабо измененная почвообразованием
	1. Монолитные породы без признаков раздраженности, но с расшатанными связями между частичками	Материнские (исходные) породы	Общая мощность горизонтов A + B до 1—1,5 м, реже, более 10 м

* Выбранны в качестве примера.

Таблица 4

Группа гипергенных образований

Класс	Группа	Подгруппа	Тип	Вид	Разновидность
Грунты без жёстких структурных связей (нескальные)	Осадочные несцементированные	По ГОСТ 25100-82 [2] с изменениями			
Гипергенные		Элювиальные (химического, физического выветривания)	По «Пособию» [7]		
		Почвенные (почвы тундровые, подзолистые, болотные, лесостепные, черноземные и др.)	По ГОСТ 25100-82 [2]		
		Лёссовые — почвенно-элювиальные (сингенетические, эпигенетические)		Подлежит разработке	
		Криолитогенные — вечномерзлые (сингенетические, эпигенетические)		То же	

Исключение из состава элювиальных образований скальных грунтов разной степени выветрелости требует предусмотреть в классификации выделения разновидностей скальных грунтов по степени выветрелости, что в настоящее время не сделано в ГОСТ 25100-82.

На инженерно-геологических разрезах территорий, где развит элювий, нижняя граница элювиальных образований должна проводиться по подошве нескальных грунтов, а глубже — выделяться зоны в разной степени выветрелых скальных изверженных, метаморфических или осадочных грунтов.

Из сравнения условий залегания и строения профилей элювиальных образований и почв (см. табл. 2 и 3) можно сделать некоторые выводы об общих особенностях гипергенных образований с тем, чтобы опираясь на них рассмотреть возможность отнесения к группе гипергенных грунтов других образований, в том числе проблематичного происхождения.

Основными из таких общих особенностей являются следующие.

1. Гипергенные образования формируются в верхней части литосферы под воздействием агентов атмосферы и биосфера (факторов гипергенеза) путем преобразования пород различного генезиса в направлении их приспособления к условиям географической среды.

2. Гипергенные образования формируются до достижения динамического равновесия вновь образующихся грунтов с факторами гипергенеза и изменяются при изменении интенсивности этих факторов до достижения нового равновесия.

3. Вследствие уменьшения интенсивности воздействия факторов гипергенеза на породы с глубиной для гипергенных образований характерно закономерное зональное строение профиля с уменьшением вниз по разрезу степени изменения исходных пород.

4. Факторы гипергенеза отличаются разной интенсивностью в различных географических зонах, вследствие чего для гипергенных образований характерна выраженная географическая зональность.

5. Факторы гипергенеза действуют в пределах географической зоны со сходной интенсивностью на породы различного генезиса, возраста и состава, развитые на разных геоморфологических элементах, в результате чего гипергенные образования часто залегают в виде покровов на разных геоморфологических элементах и породах, отличаясь по мощ-

ности, составу и степени изменения исходных пород в зависимости от устойчивости этих пород к воздействию факторов гипергенеза, возраста геоморфологических элементов, условий сноса, гидрогеологических условий и др.

При изучении гипергенных образований в инженерно-геологических целях к ним должны относиться грунты, которые в результате воздействия процессов гипергенеза приобрели принципиально новые свойства, существенные с инженерно-геологической точки зрения, отличающие их от материнских пород, хотя и измененных процессами гипергенеза, но не утративших основных особенностей исходных пород. То есть в зоне гипергенеза могут выделяться гипергенные образования и измененные процессами гипергенеза грунты. Среди гипергенных образований могут выделяться горизонты начального, глубокого и конечного преобразования, а среди измененных процессами гипергенеза — горизонты слабоизмененных, измененных и сильноизмененных грунтов (например, слабовыветрелых, выветрелых и сильновыветрелых).

Из рассмотрения общей инженерно-геологической классификации грунтов ГОСТ 25100-82 следует, что имеется по крайней мере две больших совокупности грунтов, при классифицировании которых нарушен генетический принцип. Это лёссовые грунты, которые одновременно выделяются как тип и подтип пылевато-глинистых грунтов, а также вечномерзлые грунты, выделяемые как разновидности грунтов всех классов, типов и видов.

Генезис лёссовых грунтов, как известно, вызывает дискуссии среди географов, почвоведов, литологов, инженер-геологов на протяжении более 100 лет. Между тем специалистам по корам выветривания эти споры представляются в значительной мере сколастическими [5]. С их точки зрения лёссовые породы являются продуктами выветривания, своеобразие которых заключается в следующем. Во-первых, лёссовые породы формируются под совместным действием процессов почвообразования и физического выветривания при большой роли процессов замерзания — оттаивания [5, 6]. Во-вторых, в отличие от образования кор выветривания и почв лёссовые породы могут формироваться в условиях интенсивного привноса материала на поверхность, причем скорость такого привноса может быть различной. Когда она превышает скорость почвообразования — формируются лёссовые породы, когда привнос уменьшается или прекращается — образуются почвы. При новом усилении привноса материала такие почвы оказываются погребенными [6]. В-третьих, материал отложений различного генезиса, подвергающийся облёсованию, часто сам является переотложенным продуктом физического выветривания, конечным результатом дезинтеграции пород и минералов при котором являются пылеватые частицы [5].

При учете этих особенностей формирования лёссовых грунтов снимаются основные возражения против почвенно-элювиальной гипотезы образования лёссов, впервые выдвинутой Л. С. Бергом, а криогенная гипотеза их образования, развиваемая школой инженер-геологов Московского университета (Е. М. Сергеев, А. В. Минервин, В. Т. Трофимов и др. [4]), занимает надлежащее место как рассматривающая один из главных факторов лёссообразования. Очевидно, что если почвенно-элювиальная гипотеза формирования лёссовых грунтов верна, то они должны обладать всеми указанными выше особенностями, характерными для гипергенных образований.

Сравнение характерных особенностей распространения, условий залегания, строения профилей лёссовых образований с табл. 2 и 3 показывает их полное совпадение.

Лёссовые образования [3]

всегда приурочены к поверхностной части литосферы;

формируются в областях с холодным и сухим климатом, т. е. их рас-

пространение характеризуется ярко выраженной географической зональностью;

залегают плащеобразно в виде покрова на различных геоморфологических элементах;

формируются на породах различного генезиса: эоловых, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных и др.;

формируются до достижения динамического равновесия с географической средой и изменяются при изменении последней.

В тех случаях, когда облессование происходит после отложения осадков (например, после снижения уровня подземных вод в пределах террасы) образуется эпигенетический лёссовый профиль (модель «А» по [4]):

1. П — современная почва.

2. ПР — просадочные лёссовые грунты.

3. Н — непросадочные лёссовые грунты.

4. Подстилающие грунты с резкой верхней границей или постепенно переходящие в лёссовые грунты.

В случаях, когда облессование протекает в процессе отложения осадков, формируются сингенетические лёссовые профили (модели «А» или «Б» по [4]), характеризующиеся увеличенной мощностью лёссовых грунтов в профиле модели «А» или повторяющимися по разрезу элементами профиля модели «А», в том числе включающие горизонты погребенных почв.

Обратим внимание, что эпигенетический лёссовый профиль является аналогичным по строению с профилями почв и кор выветривания (см. табл. 3), а сингенетический, как отмечено выше, состоит из элементов первого.

Гипотеза почвенно-элювиального происхождения лёссовых образований позволяет объяснить низкую степень выветрелости материала лёссовых толщ тем, что они формируются под преимущественным воздействием процессов физического выветривания, в том числе промерзания — протаивания, а процессы почвообразования, при которых могут происходить глубокие химические изменения даже в условиях холодного или сухого климата, подавляются привносом нового материала. Эта гипотеза объясняет также большую однородность материала и резкое преобладание пылеватых частиц размером 0,05—0,005 мм в лёссовых грунтах, поскольку частицы пылеватой фракции являются конечным продуктом дезинтеграции пород и минералов под воздействием процессов физического выветривания [4, 5].

Отсутствие в лёсах выраженной слоистости также объясняется тем, что при интенсивном проявлении процессов физического выветривания, особенно в зоне промерзания — протаивания грунтов, происходит полное нарушение текстурных признаков исходной породы.

Наконец, макропористость, свойственная лёссовым грунтам, как подтверждено экспериментами, возникает под воздействием промерзания — протаивания и увлажнения — высыхания, т. е. процессов физического выветривания [4].

Изложенное позволяет предложить выделить в группе гипергенных образований третью подгруппу — лёссовых (почвенно-элювиальных) грунтов, что дает возможность разработать их классификацию на генетической основе (см. табл. 4).

Вечномерзлые грунты также несут многие из отмеченных выше признаков гипергенных образований, поэтому можно полагать, что и они могут быть включены в виде отдельной подгруппы в группу гипергенных грунтов (см. табл. 4).

Выводы

1. Применяемая при инженерных изысканиях для строительства общая инженерно-геологическая классификация грунтов требует уточнения, поскольку в ней не нашли должного места гипергенные образования — элювиальные, почвенные, лёссовые, без необходимого обоснования отнесенные к группе осадочных несцементированных грунтов.

2. Гипергенные образования характеризуются специфическими особенностями распространения, условий залегания, строения профиля и состава, структуры и свойств, отличными от таковых у осадочных несцементированных грунтов, что вызывает затруднения при классификации их с использованием тех же признаков-оснований, что и осадочных грунтов различного генезиса.

3. Выделение группы гипергенных образований позволит разработать на генетической основе классификации элювиальных и лёссовых образований, а, возможно, и вечномерзлых грунтов.

4. Ввиду того что классификация грунтов ГОСТ 25100-82 является общеобязательной, представляется необходимым широкое обсуждение результатов ее применения для внесения уточнений при переиздании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург И. И. Типы древних кор выветривания, формы их проявления и классификация//Региональное развитие кор выветривания в СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 71—101.
2. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. М.: Изд-во стандартов, 1982. 9 с.
3. Кригер Н. И. Лёсс. Формирование просадочных свойств. М.: Наука, 1986. 123 с.
4. Лёссовые породы СССР. Т. I. М.: Недра, 1986. 232 с.
5. Михайлов Б. М. Рудоносные коры выветривания. Л.: Недра, 1986. 238 с.
6. Петров В. П. Основы учения о древних корах выветривания. М.: Недра, 1967. 343 с.
7. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М.: Стройиздат, 1986. 415 с.
8. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1985. 40 с.
9. Ярг Л. А. Инженерно-геологическое изучение процесса выветривания. М.: Недра, 1987. 236 с.

ПНИИИС

Поступила в редакцию
18.I.1988

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

Геологический факультет объявляет прием на специальное отделение по переподготовке дипломированных инженеров по следующим специализациям: автоматизированные средства и системы сбора, обработки и интерпретации геолого-геофизической информации; новые методы и технические средства при инженерно-геологических изысканиях и прогнозировании изменений геологической среды; новые методы и технологии при прогнозировании и математическом моделировании геокриологических процессов; охрана и разведка подземных вод с применением математических методов и ЭВМ; инженерно-геологические изыскания при строительстве в условиях вечной мерзлоты; инженерно-геологические изыскания при бурении в условиях вечной мерзлоты; геолого-геофизические исследования на акваториях.

Наряду со специальными дисциплинами слушатели изучают курсы общего характера: современные проблемы геологии и геофизики, рациональное использование и охрана окружающей среды. Уделяется внимание вопросам программирования, численного моделирования и интерпретации получаемых материалов с помощью ЭВМ.

Занятия на спецотделении проводят ведущие ученые страны — академики и члены-корреспонденты АН СССР, профессора и доценты геологического, механико-математического факультетов и факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ.

Предусмотрен обширный практикум с использованием новейших приборов и установок, а также современных ЭВМ. В заключение проводится учебная практика на Звенигородской базе МГУ.

По завершении обучения выдается диплом. Иногородним предоставляется общежитие. За время обучения слушателям сохраняется средняя заработка плата, а получающим менее 200 руб. в месяц выплачивается стипендия в размере 40 руб.

Занятия начинаются с 1-го декабря 1988 г.

Ориентировочная стоимость обучения 1300 руб. Оплата производится предприятием, командировавшим слушателя, по перечислению.

Условия приема: срок обучения с отрывом от производства — 6 месяцев; прием производится по направлениям предприятий и организаций; принимаются лица, имеющие законченное высшее образование.

В приемную комиссию представляются:

1. Личное заявление.
2. Направление предприятия или организации по установленной форме.
3. Нотариально заверенная копия диплома о высшем образовании.
4. Копия трудовой книжки, заверенная отделом кадров.
5. Три фотографии 3×4.

Адрес приемной комиссии: 119899, Москва, Ленинские горы, МГУ, Геологический факультет. Спецотделение.

Справки по телефону: 939—16—56.



Редакционная коллегия:

Главный редактор
член-корреспондент АН СССР
В. И. ОСИПОВ

Доктор геолого-минералогических наук
Э. Д. ЕРШОВ

Зам. главного редактора
доктор геолого-минералогических наук
В. П. АНАНЬЕВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. П. ЗЕЛИНСКИЙ

Зам. главного редактора
доктор геолого-минералогических наук
В. В. БАУЛИН

Доктор геолого-минералогических наук
В. А. КУЗНЕЦОВ

Зам. главного редактора
доктор геолого-минералогических наук
А. А. ВАРГА

Кандидат геолого-минералогических наук
А. А. МАХОРИН

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

Доктор геолого-минералогических наук
А. М. МОНЮШКО

Кандидат геолого-минералогических наук
Л. В. БАХИРЕВА

Доктор геолого-минералогических наук
В. А. МИРОНЕНКО

Кандидат геолого-минералогических наук
В. П. БОЧКАРЕВ

Доктор геолого-минералогических наук
Ю. Б. ОСИПОВ

Доктор геолого-минералогических наук
С. Д. ВОРОНКЕВИЧ

Кандидат геолого-минералогических наук
И. А. ПАРАБУЧЕВ

Кандидат геолого-минералогических наук
Т. А. ГРЯЗНОВ

Доктор геолого-минералогических наук
Е. М. ПАШКИН

Доктор геолого-минералогических наук
К. И. ДЖАНДЖАВА

Кандидат геолого-минералогических наук
Ю. Б. ТРЖЦИНСКИЙ

Адрес редакции:

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

Телефон: 227-01-45

Заведующая редакцией А. А. Мазаева

Технический редактор Л. В. Павлова

Сдано в набор 24.06.88 Подписано к печати 04.08.88 Т-12958 Формат бумаги 70×108^{1/16}
Высокая печать Усл. печ. л. 11,2 Усл. кр.-отт. 24,8 тыс. Уч.-изд. л. 12,0 Бум. л. 4,0
Тираж 2168 экз. Зак. 4618

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука»,
103717, ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука», 121099 Москва, Г-99, Шубинский пер., 6

УДК 624.131.

СИСТЕМЫ И УПРАВЛЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ. Черняев В. Ф. «Инженерная геология», 1988, № 5.

В статье изложены общие правила вычленения объекта из окружающей среды. По целевому признаку — обеспечение гомеостазиса биосфера и человека — Земля как система представлена в виде совокупности оболочек. Из анализа их взаимодействия делается вывод о защитных функциях верхней части литосферы, сохранение которых является задачей глобального литомониторинга. Предлагается универсальная системная модель геологических тел, в рамках которой по типу воздействий (внешние и внутренние, природные и искусственные) выделяются классы систем в инженерной геологии.

Вводится постулат, объединяющий природные силы, действующие на литосферу, и геологическую деятельность человека в рамках одной системной модели; обосновывается нижняя граница геологической среды и дается ее определение. Рассмотрены законы композиции, по которым моделируются системы в инженерной геологии. Из условий управления все генетические типы континентальных отложений объединены в три класса. Показаны особенности техногенных отложений как нового класса геологических систем. Предлагается системная модель техногенеза, основанная на системной модели литогенеза по Н. М. Страхову. Дается последовательность операций по составлению такой модели.

Рис. 6, библ. 30 назв.

УДК 624.131.4

НОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ К ПОЗНАНИЮ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ЭПИГЕНЕТИЧЕСКОЙ ПРОСАДОЧНОСТИ У ПЫЛЕВАТЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОРОД. Трофимов В. Т., Горский М. Р. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Описана методика лабораторного физического моделирования формирования просадочности у образцов-монолитов современных аллювиальных пылеватых пород, выполненного по четырем схемам. Обсуждаются результаты моделирования формирования просадочности у этих пород при действии различных нагрузок и разной скорости их дегидратации. Сформулированы задачи и основные положения методики дальнейших работ в этой области.

Рис. 7, табл. 6, библ. 9 назв.

УДК 624.131

КОНСОЛИДАЦИЯ НЕОДНОРОДНЫХ НАМЫВНЫХ ОСНОВАНИЙ ПРИ ГЛУБИННОМ ВИБРОУПЛОТНЕНИИ. Кушнир С. Я. «Инженерная геология». 1988, № 5.

Показано, что при вибрационном воздействии на грунты изменяются их фильтрационные свойства. При этом значительно сокращается время консолидации неоднородных намывных оснований за счет резкого увеличения градиента напора.

Приведены результаты исследований консолидации таких оснований при глубинном виброуплотнении, оценены эффективные области уплотнения и сроки консолидации.

Рис. 3, табл. 2, библ. 1 назв.

УДК 624.131

О СИСТЕМЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ. Пиотровская Т. Ю. «Инженерная геология», 1988, № 5.

При инженерно-геологической оценке пространственной изменчивости природных процессов главным является выявление активности проявления процессов, которую предлагается выражать через экстенсивность или интенсивность их развития. Экстенсивность определяется процентом пораженности территории процессом. Интенсивность процесса отражает его энергетический потенциал, опреде-

ляемый физическими показателями скорости проявления и объемами смещений земляных и водных масс, сочетание которых обозначается понятием мощность процесса. Сочетание прерывисто развитых процессов формирует парагенетические комплексы.

Табл. 3, рис. 1, библ. 5 назв.

УДК 551.343 : 550.838

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ И ИХ ПРОГНОЗ. Гутковский В. Н., Пилипенко М. Н., Семеренко В. С. «Инженерная геология», 1988, № 5.

В статье рассматривается участок северо-западного побережья Черного моря, на котором развиты оползни трех типов. Даются характеристики каждого типа, устанавливаются причины оползней, например, — увлажнение лессовых пород вследствие возрастающей роли техногенного оползневого фактора в условиях сплошной застройки побережья. Даются рекомендации относительно использования при проектировании и строительстве метода режимной регистрации электромагнитной эмиссии пород оползневой зоны, позволяющего прогнозировать направленность оползневого процесса, выявлять потенциально опасные зоны.

Рис. 3, табл. 1, библ. 5 назв.

УДК 551.345 (268)

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КРИОЛИТОЗОНЫ. Жигарев Л. А. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Приводится понятие океанической криолитозоны, рассматриваются и анализируются основные факторы формирования и сохранения многолетнемерзлых, морозных и охлажденных ниже 0°C пород. Выделены четыре вида сезонно-мерзлых пород. Приводятся некоторые физические и физико-химические свойства подводных отложений.

Рис. 2, библ. 15 назв.

УДК 624.131

ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГРУНТОВ СЕВЕРНЫХ РАЙОНОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В СВЯЗИ С ПРОКЛАДКОЙ ТРУБОПРОВОДОВ. Коробанова И. Г., Нефедова Т. В., Черняк Э. Р. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Проведен анализ результатов инженерно-геологических исследований по трассе действующего газопровода в северных районах Западной Сибири. Выявлено влияние на техническое состояние трубопроводов рельефа, гидрогеологических, мерзлотных, грунтовых условий. Приведены характеристики грунтов, необходимые для оценки их как материала обратной засыпки и балластировки трубопровода. Выведены коэффициенты разуплотнения — разупрочнения грунтов разной литолого-генетической принадлежности при различном влажностном режиме, которые могут быть использованы при проектировании. Установлены закономерности процессов уплотнения и упрочнения грунтов во времени.

Рис. 5, табл. 1.

УДК 551.49 : 631.4

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГРУНТОВОГО ПОТОКА НА ОРОШАЕМЫХ МАССИВАХ ПОВОЛЖЬЯ. Четвериков С. С. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Установлена устойчивая связь между подъемом грунтовых вод и рассредоточенно-неравномерным их питанием через локальные геологически сложившиеся зоны соединения поверхностного стока с подземным. В противовес сложившейся в мелиоративной гидрогеологии концепции когда дренаж строят ко времени достижения грунтовыми водами критической глубины, автор обосновывает возмож-

ность сохранения и улучшения геосреды на основе установленной закономерности путем оптимального размещения дренажа, дождевальных машин, ирригационных каналов и режимно-наблюдательной сети скважин в период строительства и реконструкции оросительных систем.

Рис. 3, библ. 25 назв.

УДК 624.131

УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ОБВОДНЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПЛОЩАДОК В РАЙОНЕ ГОРНЫХ ПОДРАБОТАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА. Орлов Я. М., Аладьев Л. Л., Текучева З. Н. «Инженерная геология», 1988, № 5.

В статье на основании обобщения инженерно-геологических материалов и данных многолетних наблюдений по конкретным объектам промышленного и гражданского назначения показаны условия и особенности техногенного обводнения промплощадок шахт и кварталов жилой застройки, расположенных на подрабатываемых территориях Восточного Донбасса (Ростовская область). Подчеркивается роль «скифских» глин неогена в развитии процессов подтопления строительных площадок в условиях горных подработок района. Применяя метод аналогий, можно использовать результаты работ в практике изысканий для обоснования инженерно-геологических прогнозов по вновь осваиваемым площадкам шахтного и жилищного строительства, осуществляющегося на подрабатываемых территориях района.

Рис. 5, табл. 1, библ. 8 назв.

УДК 624.131.38

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ОБЪЕМОВ ЗАКРЕПЛЕННОГО ГРУНТОВОГО МАССИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЗОНДИРОВАНИЯ. Ильичёв В. А., Шейнин В. И., Уляхин О. В., Михеев В. В., Кулакчин Б. И., Грачев Ю. А., Бетелев Н. П. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Предлагается вероятностный метод оценки расчетного значения предела прочности при одноосном сжатии силикатизированного лесового грунта, основанный на геостатистическом подходе, применяемом в последние годы при определении запасов полезных ископаемых.

Исходной информацией являются результаты описания неоднородности массивов по данным пенетрации в шурфах и данные ударно-вращательного зондирования.

Метод позволяет назначать размеры в плане фундаментов с учетом значительной изменчивости прочностных свойств закрепленного грунта и расчетного уровня надежности.

Рис. 2, библ. 12 назв.

УДК 624.131.5

РЕАКЦИЯ СУПЕСЧАНОГО ГРУНТА НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ. Трацевская Е. Ю. «Инженерная геология», 1988, № 5.

В статье описана методика определения частоты собственных колебаний образцов связных грунтов; определены частоты собственных колебаний образцов спусченного грунта нарушенного сложения; получены все параметры, необходимые для расчета исследованного грунта на динамическое воздействие; получена резонансная зона.

Рис. 6, табл. 3, библ. 6 назв.

УДК 624.131 : 553.434

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ. Дегтярев Р. А. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Показана необходимость составления инженерно-геологических регламентов разработки месторождений по данным детальной и эксплуатационной разведок с учетом материалов геолого-маркшейдерской документации подземных горных выработок с целью обеспечения расчета устойчивых элементов выбранной системы разработки. Определено содержание регламента, и на примере Джезказганского месторождения медистых песчаников показан порядок его составления.

Табл. 2, рис. 2, библ. 8 назв.

УДК 624.131

О ПОЛОЖЕНИИ ГИПЕРГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ОБЩЕЙ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ. Матвеев Ю. Д. «Инженерная геология», 1988, № 5.

Рассмотрено положение в общей инженерно-геологической классификации грунтов ГОСТ 25100-82 элювиальных и почвенных образований. Показано, что их включение в группу осадочных несцементированных грунтов приводит к нарушению принципа ее построения на генетической основе и затрудняет применение классификации ГОСТ 25100-82 при производстве инженерных изысканий. Обсуждается необходимость выделения в классе грунтов без жестких структурных связей кроме группы осадочных несцементированных грунтов также группы гипергенных образований, включающей подгруппы элювиальных, почвенных, почвенно-элювиальных (лессовых) и, возможно, вечномерзлых грунтов.

Табл. 4, библ. 9 назв.