

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ

А.А. Худякова, М.Г. Губайдуллин

Архангельский государственный технический университет  
*Наб. Северной Двины, 17, Архангельск, Россия, 163002*

Проведенные исследования позволят повысить точность прогноза строительных свойств покровных отложений и разработать методы расчета напряженно деформированного состояния при промерзании или оттаивании грунтовых оснований под трубопроводами и другими сооружениями на Севере.

**Ключевые слова:** Север России, многолетняя мерзлота, покровные отложения, морозобойные трещины, нефтепроводы.

Проектирование трубопроводов на Севере, без учета наличия обводненных, деформируемых при промерзании/оттаивании покровных и подстилаемых мерзлых грунтов, значительных изменений температур в грунтовых основаниях при эксплуатации сооружений, как правило, приводит к пространственным перемещениям, концентрациям напряжений, коррозии и разливам нефти из трубопроводов [1; 2].

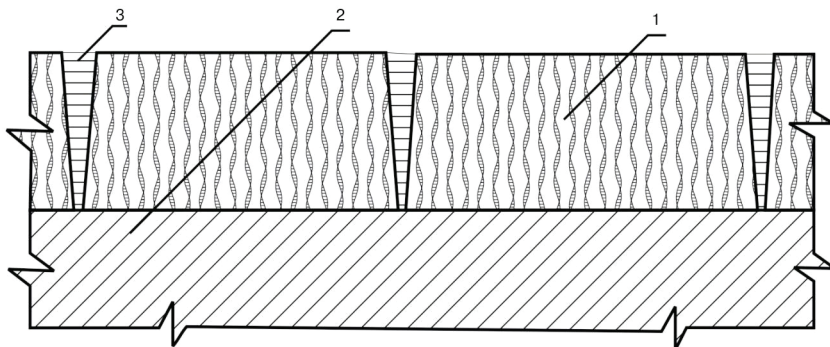
Результаты имеющихся геокриологических исследований подтверждают, что фазовые превращения влаги в покровных отложениях (деятельном слое) приводят к развитию криогенных процессов, формированию на участках с высоким положением уровня грунтовых вод (УГВ) морозобойных трещин [3]. Однако работы по изучению покровных отложений с морозобойными трещинами в качестве строительных оснований, особенностей их влияния на водно-физические, тепловые свойства грунтов деятельного слоя на Европейском Севере России до настоящего времени не проводились.

Ниже приведены результаты геокриологических исследований покровных отложений, проведенных нами в 2007—2008 гг. по трассе одного из строящихся в Ненецком автономном округе нефтепроводов.

В натурных условиях изучались геометрические размеры морозобойных трещин, процессы формирования в деятельном слое блочной структуры грунтов, пространственно-временные изменения водно-тепловых характеристик покровных отложений.

В плане морозобойные трещины имели четырехугольную и пятиугольную формы со сторонами протяженностью 1,6—4,4 м при ширине их раскрытия на поверхности 0,05—0,35 м. Глубина смыкания трещин соответствовала границам максимального оттаивания грунтов (0,5—2,1 м) или положению УГВ в зонах распространения подстилаемых мерзлых грунтов.

Трещины и автономно расположенные между ними грунтовые блоки являлись определяющими элементами для составления обоснованных прогнозов изменений термовлажностного режима и строительных свойств покровных отложений. Эти элементы в совокупности и представляют собой блочную структуру деятельного слоя (рис. 1).



**Рис. 1.** Модель блочного размещения грунтов в покровных отложениях:  
1 — автономные грунтовые блоки; 2 — водонепроницаемый подстилающий слой;  
3 — морозобойные трещины, заполненные водой или льдом

Предлагаемая модель предусматривает блочное размещение грунтов в покровных отложениях и обеспечивает прогноз изменений капиллярной (вертикальной) и гидрологической (горизонтальной) составляющих водного режима деятельного слоя грунтов. Так, например, на участке, имеющем на поверхности морозобойные трещины шириной порядка 0,25 м, глубиной 1,2 м, протяженностью сторон в плане порядка 2,5 м, было зафиксировано блочное размещение грунтов в покровных отложениях.

Объем капиллярной влаги, содержащейся в одном автономном блоке, с размерами в плане — 2,4 × 2,4 м (при УГВ = 1,2 м, осредненным по высоте блока значением объемной влажности равным 0,22) составлял к концу весеннего периода

$$V_{\text{кап. воды в блоке}} = (2,4 \cdot 2,4 \cdot 1,2 - 0,25 \cdot 2/2 \cdot 1,2 \cdot 2,4 \cdot 2) \cdot 0,22 = 1,2 \text{ м}^3. \quad (1)$$

Содержание воды в трещинах к началу летнего периода было наибольшим и соответствовало:

$$V_{\text{воды в тр}} = 0,25 \cdot 2/2 \cdot 1,2 \cdot 2,4 \cdot 2 = 1,44 \text{ м}^3. \quad (2)$$

Суммарное влагосодержание в автономном блоке и в прилегающих к нему морозобойных трещинах к концу весеннего периода было равно

$$\sum V_{\text{воды}} = V_{\text{воды в тр}} + V_{\text{кап. воды в блоках}} = 1,44 + 1,2 = 2,64 \text{ м}^3. \quad (3)$$

В межлетний период года при практически неизменном содержании капиллярной влаги в автономных блоках объем воды в трещинах, снижаясь до УГВ, составлял 7—12% от максимального значения.

В осенние периоды объем воды в трещинах повышался до 40—70% от значений весеннего паводка.

Наличие в покровных отложениях автономно расположенных грунтовых блоков и заполненных влагой (льдом) морозобойных трещин существенно влияет на формирование в них тепловых режимов и в частности, на глубины промерзания/оттаивания блоков.

В случаях применения общепринятых тепловых расчетов, предусматривающих наличие только вертикальных тепловых потоков для автономно расположенных блоков, необходимо дополнительно учитывать и горизонтальные составляющие теплопередачи, вызванные фазовыми превращениями воды или льда в морозобойных трещинах.

Высота морозобойных трещин и автономных блоков зависит от положения УГВ или верхней границы залегания мерзлых грунтов.

Исследованиями установлено, что трещины с относительно большими в сравнении с пораами скелета грунта размерами не имеют гидравлических сопротивлений и входят в состав общей гидрологической системы осваиваемого участка.

В грунтовых блоках капиллярную систему представляют в виде вертикальных, сообщающихся между собой сосудов.

Влажность грунтовых блоков зависит от наличия в них атмосферных осадков и капиллярной влаги, а температурный режим покровных отложений формируется под воздействием вертикальных и горизонтальных тепловых потоков.

Приведенные выше сведения по формированию морозобойных трещин, водно-теплого режима в покровных отложениях и подстилаемых мерзлых грунтах позволяют существенно упростить процедуры проведения краткосрочных и долгосрочных прогнозов изменений физико-механических свойств грунтов при промерзании/оттаивании, определения напряженно-деформированного состояния грунтов в основаниях промышленных сооружений.

Продолжение комплексных исследований особенностей процессов формирования геокриологического строения, изменений водно-теплого режима покровных отложений и подстилаемых мерзлых грунтов обеспечат повышение надежности эксплуатации промышленных объектов на Крайнем Севере.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Конюхов А.В., Никитин А.В., Калашиников А.В.* Постановка задачи к расчету сезонного промерзания-оттаивания обводненных грунтов // Опыт строительства и реконструкции зданий и сооружений на слабых грунтах: Материалы Международной научно-технической конференции. — Архангельск: АГТУ, 2003. — С. 67—71.
- [2] *Пендин В.В., Овсянникова О.С., Дубина Т.П.* К вопросу о необходимости инженерно-геологического обследования магистральных нефтепроводов в процессе эксплуатации // Трубопроводный транспорт нефти. — М.: Транс Пресс, 1996. — № 7. — С. 14—16.
- [3] Изучение инженерно-геокриологических и гидрогеологических условий верхних горизонтов пород в нефтегазоносных районах криолитозоны: Методическое руководство / Под ред. Е.С. Мельникова. — М.: Недра, 1992.
- [4] *Пучков Л.А., Воробьев А.Е.* Человек и биосфера: вхождение в техносферу: Учебник для вузов. — М.: МГГУ, 2000.

## THE FEATURES FORMING OF A GEOCRIOLOGICAL STRUCTURE OF INTEGUMENTARY SEDIMENTS IN THE FAR NORTH

**A.A. Hudyakova, M.G. Gubaidullin**

Arkhangelsk State Technical University  
*Emb. Severnaya Dvina, 17, Arkhangelsk, Russia, 163002*

The organized effort will allow to raise accuracy of constructional characteristics forecast of integumentary sediments and to devise methods of analysis of deflected mode when frost penetration or thaw of foundation soil under oil-pipe lines and under other constructions on the North.

**Key words:** North of Russia, long-lived permafrost, frosty cracks, integumentary rocks, oil pipelines.



**Худякова Анна Александровна** — аспирантка кафедры транспорта и хранения нефти и газа Архангельского государственного технического университета, автор и соавтор 12 опубликованных работ, в том числе трех патентов на изобретения в области исследований взаимодействия нефтепроводов с грунтовыми основаниями на Крайнем Севере



**Губайдуллин Марсель Галиулович** — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой транспорта и хранения нефти и газа Архангельского государственного технического университета. Автор 150 опубликованных работ, в том числе пяти монографий и двух учебных пособий.  
e-mail: thng@agtu.ru