

**Г.А. Янченко**

## **ПОКАЗАТЕЛИ СОДЕРЖАНИЯ ЛЬДА И НЕЗАМЕРЗШЕЙ ВОДЫ В МЕРЗЛЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ И ГРУНТАХ**

Выполненный краткий анализ имеющихся в технической литературе показателей содержания льда и незамерзшей воды в мерзлых породах и грунтах показал, что в настоящее время нет единого устоявшегося подхода к терминам и определениям этих показателей. Это создает определенные трудности при чтении соответствующей технической литературы и использовании получаемой при этом информации на практике. Показатели и их термины должны четко указывать, что представляет собой тот или иной показатель, принцип его определения и соответственно единицы измерения. Показано, что наиболее рационально все показатели содержания льда и незамерзшей воды в мерзлых породах и грунтах определять на их мерзлое и сухое состояния. Это позволило сформировать единый подход к методам определения, как известных показателей, так и предложенных впервые автором, и четко сформулировать их термины.

*Ключевые слова:* горная порода, грунт, суммарная влажность, суммарное влаго-содержание, взаимосвязь, льдистость, льдосодержание, льдонасыщение, показатели содержания незамерзшей воды.

**К**ак известно, вода, находящаяся в связных и рыхлых горных породах и грунтах при снижении температуры до отрицательных величин переходит в твердое агрегатное состояние, образуя лед, кардинально изменяющий большинство физических свойств этих пород и грунтов. Как известно грунты – это горные породы, являющиеся объектом строительных и горно-строительных работ, поэтому в дальнейшем будет использован термин «породы». Характер изменений физических свойств пород при их замерзании зависит от многих факторов, в том числе и от их начальной влажности и относительного количества воды, образующей соответствующие типы льда.

Согласно [1], из трех типов льда (конституционные льды, пещерно-жилые, погребенные) наибольший вклад в формирование физических свойств мерзлых пород вносят конституционные льды. К ним относятся: лед-цемент,

сегрегационный лед и инъекционный лед.

Лед-цемент представляет собой разновидность порового льда (лед, находящийся внутри пор и мелких пустот горных пород). Это мелкие частицы льда, цементирующие отдельные минеральные зерна и их агрегаты. Они образуются при промерзании слабоувлажненных пород или при быстром промерзании пород вне зависимости от величины их влажности. При образовании льда-цемента заметного раздвигания минеральных частиц и зерен в породах не наблюдается. Этот лед играет основную роль в повышении прочности пород при замерзании воды.

Сегрегационный лед (в ряде литературных источников его называют льдом прослоек, а также льдом включений) – это относительно крупные ледяные тела, чаще всего в виде линз, прослоек и других тел неправильной формы. Образуется преимущественно за счет рыхлосвязанной воды, мигри-

рующей к промерзающему слою породы. При этом в этом слое породы происходит раздвигание минеральных частиц, зерен и их агрегатов. Толщина ледяных линз и прослоек изменяется от долей миллиметров до нескольких десятков сантиметров.

Согласно [1], использование термина «лед включений» не совсем правильно, так как лед, формирующийся в промерзающих породах, представляет собой новообразование, возникшее в результате природных процессов, а не его включение. В дальнейшем в статье будет использоваться в основном термин «сегрегационный лед».

Инъекционный лед образуется из свободной (гравитационной) воды, локализованной в отдельных участках породного массива, сложенного преимущественно крупнодисперсными породами.

Обычно фазовый состав мерзлых горных пород, как впрочем, и влажных, описывают показателями, выраженными в долях единиц (дол. ед.) или в соответствующих процентах через соотношения масс или объемов компонентов мерзлых горных пород [2, 3, 4].

Для оценки содержания всех видов влаги (лед, вода) в мерзлых горных породах предложены суммарная и общая влажности, обозначаемыми в абсолютном большинстве литературных источников, соответственно, как  $W_C$  и  $W_O$ . Первая определяется как отношение массы всей влаги  $M_{вл}$  в мерзлой породе, определяемой как  $M_{вл} = M_{л} + M_{н.в}$ , где  $M_{л}$ ,  $M_{н.в}$  – масса, кг, льда и незамерзшей воды в мерзлой породе, к массе сухой горной породы  $M_{с.пор}$ , то есть к массе минерального скелета  $M_{м.ск}$ , а вторая – как отношение  $M_{вл}$  к массе мерзлой горной породы  $M_{м.пор}$ .

Однако следует отметить, что предложенные для  $W_C$  и  $W_O$  термины не совсем правильно отражают суть этих показателей.

При классическом подходе к определению содержания влаги в веществах [5, 6] под влажностью веществ понимается содержание влаги в них, отнесенное на влажное состояние веществ. Если же содержание влаги в веществе отнесено к его сухому состоянию, то это уже будет влагосодержание. Учитывая, что  $W_C$  определяется на сухое состояние породы, то  $W_C$  будет на самом деле суммарным влагосодержанием, имеющим полную размерность кг влаги/кг сух породы. Поэтому  $W_C$  надо называть суммарным массовым влагосодержанием и обозначать его как  $w_{\Sigma,м}$  (в технической литературе показатели влагосодержания обозначаются обычно строчной буквой  $w$  с соответствующими индексами, здесь нижний правый индекс « $\Sigma$ » есть условное обозначение суммы, а « $м$ » – массы). Общую влажность  $W_O$  надо называть суммарной массовой влажностью и обозначить как  $W_{\Sigma,м}$  (в технической литературе показатели влажности обозначаются обычно прописной буквой  $W$  с соответствующими индексами). Таким образом, имеем:

$$W_{\Sigma,м} = \frac{M_{вл}}{M_{м.пор}}; \quad w_{\Sigma,м} = \frac{M_{вл}}{M_{с.пор}}, \quad (1)$$

где  $[W_{\Sigma,м}, w_{\Sigma,м}] = \text{дол. ед.}$

Если в (1) перед дробями поставить 100, то  $W_{\Sigma,м}$  и  $w_{\Sigma,м}$  будут измеряться в процентах по массе (мас.%), однако при этом не надо забывать, что вне зависимости от указанных размерностей этих показателей дол. ед. или мас.%, их полные размерности будут  $[W_{\Sigma,м}] = \text{кг влаги/кг мерз. породы}$ , а  $[w_{\Sigma,м}] = \text{кг влаги/кг мерз. породы}$ .

Если в (1) заменить массовые показатели  $M_{вл}$ ,  $M_{м.пор}$  и  $M_{с.пор}$  на объемные: объем влаги  $V_{вл} = V_{л} + V_{н.в}$ , где  $V_{л}$ ,  $V_{н.в}$  – объем льда и незамерзшей воды в мерзлой породе, м<sup>3</sup>, объем мерзлой породы  $V_{м.пор}$  и объем сухой неразрыхленной породы  $V_{с.пор}$ , то получим

суммарные объемные влажность  $W_{\Sigma,об}$  и влагосодержание  $w_{\Sigma,об}$ . Учитывая, что объемы рыхлых и неразрыхленных пород при увлажнении и замерзании изменяются, то величины  $W_{\Sigma,об}$  и  $w_{\Sigma,об}$  более рационально определять следующим образом:

$$W_{\Sigma,об} = \frac{V_{вл}}{K_p V_{с. пор}} = \frac{V_l + V_{н.в}}{K_p V_{с. пор}};$$

$$W_{\Sigma,об} = \frac{V_{вл}}{V_{м. пор}} = \frac{V_l + V_{н.в}}{K_v V_{с. пор}}, \quad (2)$$

где  $K_p \geq 1,0$  – коэффициент разрыхления сухой породы;  $K_v$  – коэффициент изменения объема горных пород в результате их разрыхления (разрушения) и набухания за счет увлажнения и последующего замерзания воды.

Особенностью изменения состояния пород в результате их увлажнения и последующего образования льда является то, что вода при увлажнении пород располагается в порах, трещинах и других пустотах, изменяя объем пород в основном не напрямую за счет прибавления своего объема, а косвенно, влияя на их набухаемость и разрыхляемость. То же самое имеет место и при замерзании воды. При этом надо иметь в виду, что во влажных горных породах, особенно в связных и рыхлых, коэффициенты разрыхления и набухания зависят от величины их влажности, то есть  $K_p(W)$  и  $K_{наб}(W)$ . Эти зависимости в ряде пород иногда могут иметь довольно сложный вид. Например, при увлажнении такой мелкозернистой породы как кварцевый песок может иметь место, как уменьшение  $K_p(W)$ , так и его увеличение. Это обусловлено тем, что в определенных диапазонах влажности вода может способствовать слипанию мелких твердых частиц в более крупные конгломераты, а в других диапазонах – наоборот. Еще по более сложным зависимостям изменяются  $K_p(W)$  и  $K_{наб}(W)$  при замер-

зании воды, особенно в связных породах, в которых процесс образования льда заканчивается при температурах значительно ниже  $0^\circ\text{C}$ .

Таким образом, изменение объема сухих пород происходит только за счет их разрыхления (разрушения), при этом  $K_p$  при положительных и отрицательных температурах одинаков. Влажные породы, находящиеся в неразрыхленном (неразрушенном) состоянии ( $K_{раз}(W) = 1,0$ ) изменяют свой объем только в процессе своего увлажнения и последующего замерзания воды. Поэтому у пород  $K_v = K_{наб}(W)$ . У рыхлых пород к процессу набухания присоединяется процесс изменения (увеличения, уменьшения) разрыхления пород за счет их увлажнения и замерзания воды. Поэтому у них  $K_v$  становится своего рода интегральным показателем, определяемым в общем случае как  $K_v = K_p(W) K_{наб}(W)$ . На практике при определении изменения объема рыхлых горных пород в результате изменения их разрыхляемости, увлажнения и замерзания воды очень трудно выделить по отдельности влияние  $K_p(W)$  и  $K_{наб}(W)$  на величину  $K_v$ . Поэтому у этих пород экспериментально определяют непосредственно величину  $K_v$ , одновременно учитывающую влияние как  $K_p(W)$ , так и  $K_{наб}(W)$ .

Согласно [2, 7] на практике более показательно и удобно вычислять не  $w_{\Sigma,М}$  (в этих работах обозначено  $W_c$ ), а  $W_{\Sigma,М}$  (в этих работах обозначено  $W_{общ}$ ), так как это, по мнению автора, позволяет избежать трудновоспринимаемые величины влажности грунтов более 100%. В качестве примера в этих работах даже указано, что если мерзлый грунт имеет  $w_{\Sigma,М} = 200\%$  по массе, то  $W_{\Sigma,М}$  будет 66% по массе, то есть 66% от общей массы грунта будет составлять незамерзшая вода и лед всех типов.

Причины, по которым  $W_c$  и  $W_o$  получили в технической литературе одинаковое название, правда, с разными

дополнительными определениями, подробно рассмотрены в работе [4].

Взаимосвязи между  $W_{\Sigma, M}$  и  $w_{\Sigma, M}$  имеют такой же вид, как и между массовой влажностью  $W_M$  и массовым влагосодержанием  $w_M$  у влажных пород:

$$W_{\Sigma, M} = \frac{w_{\Sigma, M}}{1 + w_{\Sigma, M}}, \quad w_{\Sigma, M} = \frac{W_{\Sigma, M}}{1 - W_{\Sigma, M}}. \quad (3)$$

Учитывая (2), получим взаимосвязи между  $W_{\Sigma, об}$  и  $w_{\Sigma, об}$ :

- в неразрыхленных породах

$$W_{\Sigma, об} = \frac{w_{\Sigma, об}}{K_{наб}(W)},$$

$$w_{\Sigma, об} = K_{наб}(W)W_{\Sigma, об}; \quad (4)$$

- в разрыхленных породах

$$W_{\Sigma, об} = \frac{K_P w_{\Sigma, об}}{K_V},$$

$$w_{\Sigma, об} = \frac{K_V W_{\Sigma, об}}{K_P}. \quad (5)$$

Показатели содержания льда в мерзлых горных породах вне зависимости от того к какому состоянию пород они отнесены в литературе имеют одно обобщенное название льдистость с соответствующими дополнительными определениями, учитывающими в определенной степени метод определения того или иного показателя. Соответственно предложено и довольно много их условных обозначений. В определенной степени это обусловлено тем, что даже в одном из последних стандартов, относящихся к терминологии в горных породах [8], льдистость определена не конкретно, а как объемная или массовая доля льда в горной породе в данных условиях. Такой подход к определению льдистости не способствовал к появлению единого подхода к терминологии и методам определения показателей содержания льда в мерзлых горных породах и грунтах. Это наглядно видно из нижеприведенного краткого обзора ряда литератур-

ных источников, в которых рассмотрены показатели содержания льда в породах.

Так в [3], под содержанием льда, то есть льдистостью (обозначена как  $W_l$ ), понимается отношение массы льда  $M_l$  к массе сухой породы  $M_{с.пор}$ , то есть к массе минерального скелета. Льдистость, определенная таким образом и обозначенная как  $L_M$  в учебном пособии [9] названа уже массовой льдистостью, в учебнике [10] – весовой (кстати, не понятно, почему весовой, а не массовой), обозначенной как  $i_p$ , а в пособии [2] – относительной весовой с обозначением  $i$ . В учебнике [11] льдистостью, обозначенной как  $i$ , названо уже отношение массы льда к массе всей влаги (льда и незамерзшей воды) в мерзлом грунте, хотя это же отношение в учебном пособии этого же автора, вышедшего несколько ранее [7], это отношение называлось относительной льдистостью и обозначенной также  $i$ .

В справочнике [12] льдистостью грунта, обозначенной как  $L_B$ , названо количество льда в грунте за счет ледяных включений. Для расфигурки этого показателя в справочнике приведен даже пример, показывающий, что если  $L_B = 0,2$ , то в слое мерзлого грунта толщиной 100 см содержатся прослойки льда суммарной толщиной 20 см. Не обращая внимание на явные ошибки в единицах измерения веса минеральных частиц грунта и льда (использованы единицы измерения массы), следует отметить, что  $L_B$  является не просто льдистостью, а льдистостью включений, то есть льдистостью, обеспеченную сегрегационным льдом. Величина  $L_B$  определяет осадку мерзлых горных пород при их оттаивании. Согласно [2, 7, 11, 12] максимальная осадка мерзлого грунта под действием собственного веса при оттаивании ледяных включений равна сумме их толщин. Соответственно  $L_B$  необходимо

обязательно учитывать при ведении строительных и горностроительных работ с искусственным замораживанием грунтов. Но в любом случае  $L_B$  не должна называться льдистостью, а иметь свой конкретный термин, например, льдистость за счет включений льда или льдистость за счет сегрегационного льда, с соответствующим дополнительным определением, указывающим на основу определения этого показателя. В этом же справочнике [12] отмечено, что в литературе также встречается понятие льдистости как общее содержание льда в грунте. При этом льдистость выражается в долях от веса мерзлого грунта или его объема и соответственно называется весовой или объемной (последняя обозначена как  $i_{ог}$ ). Выше нами было отмечено, что в [3, 9, 10] массовая (весовая) льдистость определена как отношение массы (веса) льда к массе (весу) сухой породы.

В [12] также указано, что под относительной льдистостью (обозначена как  $i_о$ ) следует понимать отношение веса льда к весу влаги в твердой и жидкой фазах. Однако в учебнике для вузов [13] отношение массы всего льда к массе всей влаги, содержащейся в породе, названа просто льдистостью с условным обозначением  $i$ , а в учебном пособии [14] под льдистостью породы, обозначенной как  $G$ , понимается уже масса льда в единице объема горной породы. Кстати в [14] также отмечено, что иногда льдистость (обозначена как  $L'_в$ ) понимают как отношение массы льда к объему породы.

Учитывая это, видим, что методы определения показателя «льдистость», имеющего в разных литературных источниках практически одинаковое название, довольно сильно различаются.

Объемные показатели влажности и льдистости мерзлых горных пород являются довольно важной их характеристикой, так как согласно [3] они часто

более удобны и наглядны при анализе зависимостей физических свойств этих пород. Согласно [2, 3, 9, 10] под объемной льдистостью понимается отношение объема всего льда  $V_l$  к объему мерзлой породы  $V_{м.пор}$ . Наличие довольно большого количества литературных источников одинаково трактующих показатель «объемная льдистость» позволяло надеяться, что в этом вопросе достигнуто однозначное понятие этого показателя. Однако это далеко не так. Так, например, в [10] объемная льдистость, обозначенная как  $i_v$ , называется также и суммарной объемной льдистостью, определяемой как  $i_v = i_B + i_{лл}$ , где  $i_B, i_{лл}$  – объемная льдистость грунта соответственно за счет включений льда и порового льда. В связи с тем, что показатель содержания льда включений в породах является очень важным показателем, более правильно показатель объемного содержания всего льда в породах называть суммарной объемной льдистостью. Методы экспериментального определения содержания льда включений в мерзлых породах в литературе описаны [15].

Кстати, сравнение выражений для расчетов  $i_B$  и  $L_B$ , приведенных в [12] и названных льдистостью, показало, что на самом деле  $L_B$  есть объемная льдистость за счет сегрегационного льда.

Таким образом, выполненный краткий анализ в области терминологии показателей содержания льда в горных породах показал, что до настоящего времени нет единого устоявшегося подхода к формированию терминологии в этой области. Поэтому возникают определенные трудности при чтении научных публикаций, учебной и технической литературы.

Термины должны четко указывать, что собой представляет тот или иной показатель, принцип его определения, а соответственно и единицы измерения. Первым шагом к разработке таких терминов, на наш взгляд, является

разделение показателей содержания влаги в мерзлых породах на два класса, учитывающие состояния пород, на которые будут определяться эти показатели. Как известно [5, 6], у горных пород показатели содержания воды в них также определяются на два состояния – влажное и сухое. Аналогичный подход должен быть и в мерзлых породах, то есть показатели содержания влаги в них необходимо определять на их мерзлое и сухое состояния.

Вторым шагом является разработка для каждого состояния пород основных показателей содержания влаги, как в целом, так и ее отдельных компонентов (лед и незамерзшая вода), а соответственно и их терминов. Последние по мере необходимости могут дополняться необходимыми определениями.

Обобщенные показатели содержания льда в мерзлых породах можно выбрать по аналогии с обобщенными показателями воды в породах – влажностью и влагосодержанием. В этом случае показатель содержания льда на мерзлое состояние породы наиболее рационально назвать давно используемым термином «льдиность» и обозначить его как  $I$ , а на сухое – предлагаемым впервые термином «льдосодержание», которое можно обозначить как  $i$ . Буквы прописная  $I$  и строчная  $i$  выбраны для условного обозначения льдиности и льдосодержания по первой букве английского слова *ice*, то есть лед. Эти обозначения в определенной степени повторяют условные обозначения терминов влажность и влагосодержание, которые были выбраны по первой букве английского слова *water*, то есть вода.

Такой подход к определению обобщенных показателей содержания льда в мерзлых породах позволяет при наличии дополнительных определений сформулировать следующие конкретные показатели, численно оцениваю-

щие содержания льда и незамерзшей воды в этих породах. Это:

- массовая и объемная льдиности за счет льда-цемента соответственно  $I_{м,ц}$  и  $I_{об,ц}$ :

$$I_{м,ц} = \frac{M_{л,ц}}{M_{м.пор}};$$

$$I_{об,ц} = \frac{V_{л,ц}}{V_{м.пор}} = \frac{V_{л,ц}}{K_V V_{с.пор}}; \quad (6)$$

- массовое и объемное льдосодержание за счет льда-цемента, соответственно  $i_{м,ц}$  и  $i_{об,ц}$ :

$$i_{м,ц} = \frac{M_{л,ц}}{M_{с.пор}};$$

$$i_{об,ц} = \frac{V_{л,ц}}{K_p V_{с.пор}}; \quad (7)$$

- массовая и объемная льдиности за счет сегрегационного льда, соответственно  $I_{м,с}$  и  $I_{об,с}$ :

$$I_{м,с} = \frac{M_{л,с}}{M_{м.пор}};$$

$$I_{об,с} = \frac{V_{л,с}}{V_{м.пор}} = \frac{V_{л,с}}{K_V V_{с.пор}}; \quad (8)$$

- массовое и объемное льдосодержание за счет сегрегационного льда, соответственно  $i_{м,с}$  и  $i_{об,с}$ :

$$i_{м,с} = \frac{M_{л,с}}{M_{с.пор}};$$

$$i_{об,с} = \frac{V_{л,с}}{K_p V_{с.пор}}; \quad (9)$$

- суммарные массовая и объемная льдиности, соответственно  $I_{\Sigma,м,л}$  и  $I_{\Sigma,об,л}$ :

$$I_{\Sigma,м,л} = \frac{M_{л}}{M_{м.пор}} = \frac{M_{л,ц} + M_{л,с}}{M_{м.пор}};$$

$$I_{\Sigma,об,л} = \frac{V_{л}}{V_{м.пор}} = \frac{V_{л,ц} + V_{л,с}}{K_V V_{с.пор}}; \quad (10)$$

- суммарные массовое и объемное льдосодержания, соответственно  $i_{\Sigma,м,л}$  и  $i_{\Sigma,об,л}$ :

$$i_{\Sigma, м, л} = \frac{M_l}{M_{с. пор}} = \frac{M_{л.ц} + M_{л.с}}{M_{с. пор}};$$

$$i_{\Sigma, об, л} = \frac{V_l}{K_p V_{с. пор}};$$
(11)

• массовые и объемные влажности и влагосодержания за счет незамерзшей воды, соответственно  $W_{м,н,в}$ ,  $W_{об,н,в}$  и  $w_{м,н,в}$ ,  $w_{об,н,в}$ :

$$W_{м,н,в} = \frac{M_{н,в}}{M_{м. пор}}; \quad W_{об,н,в} = \frac{V_{н,в}}{K_V V_{с. пор}};$$

$$w_{м,н,в} = \frac{M_{н,в}}{M_{с. пор}}; \quad w_{об,н,в} = \frac{V_{н,в}}{K_p V_{с. пор}};$$
(12)

• абсолютные льдистость и льдо-содержание, соответственно  $I_{аб}$  и  $i_{аб}$ :

$$I_{аб} = \frac{M_l}{V_{м. пор}} = \frac{M_l}{K_V V_{с. пор}};$$

$$i_{аб} = \frac{M_l}{K_p V_{с. пор}},$$
(13)

где  $M_{л,ц}$ ,  $V_{л,ц}$ ,  $M_{л,с}$ ,  $V_{л,с}$  – масса, кг, и объем, м<sup>3</sup>, соответственно льда-цемента и сегрегационного льда.

Абсолютная льдистость  $I_{аб}$  и абсолютное льдосодержание  $i_{аб}$  являются на самом деле массовыми концентрациями льда в мерзлой породе, отнесенными на ее мерзлое и сухое состояния. Однако, применительно к водяному пару, находящемуся в газовых смесях, и к воде, находящейся в твердых веществах, вместо термина «массовая концентрация» широко используются термины «абсолютная влажность» и «абсолютное влагосодержание», например, абсолютная влажность воздуха. Поэтому использование терминов «абсолютная льдистость» и «абсолютное льдосодержание» применительно к показателям, определяемым по формулам (13) вполне обосновано.

Каждая из формул (6)...(13) четко указывает, что представляет собой тот или иной показатель и его единицы из-

мерения. В качестве примера рассмотрим  $W_{об,н,в}$ . Соответствующая формула (12) четко указывает, что объемная влажность мерзлой породы за счет незамерзшей воды есть отношение объема незамерзшей воды к объему мерзлой горной породы (грунта) при рассматриваемых условиях. Соответственно  $[W_{об,н,в}] = \text{м}^3 \text{ нез. воды} / \text{м}^3 \text{ мерз. породы}$ . Следует отметить, что в технической литературе размерности массовых, объемных и молярных долей содержания компонентов в многокомпонентных веществах очень часто приводят в долях единицы. Однако надо всегда помнить, что каждая из этих долей имеет вполне определенную размерность [4]. Игнорирование этого в ряде случаев может привести в конечном итоге к неправильным результатам.

Еще один, довольно важный показатель содержания льда в мерзлых породах, названный в ряде литературных источниках относительной льдистостью, а в других льдонасыщением, не зависит от состояния породы, к которому этот показатель относят. Действительно, его рекомендовано определять как отношение массы льда  $M_l$  к массе всей влаги  $M_{вл} = M_l + M_{н,в}$ , а это отношение справедливо для любого из двух состояний мерзлой породы. Поэтому называть этот показатель льдистостью или льдосодержанием даже с соответствующими дополнительными определениями, не совсем правильно, так они не отражают суть этого показателя. Правильнее использовать термин «льдонасыщение» с дополнительными определениями массовое  $ln_m$  или объемное  $ln_{об}$ , определяемые следующим образом:

$$ln_m = M_l / M_{вл} = M_l / (M_l + M_{н,в}),$$

$$ln_{об} = V_l / V_{вл} = V_l / (V_l + V_{н,в}).$$
(14)

Соответственно при замерзании всей воды в породе  $ln_m$  и  $ln_{об}$  будут равны единице.

Учитывая методы определения рассмотренных выше показателей содержания льда и незамерзшей воды в мерзлых породах их суммарные влажности  $W_{\Sigma, M}$ ,  $W_{\Sigma, ОБ}$  и влагосодержания  $w_{\Sigma, M}$ ,  $w_{\Sigma, ОБ}$  можно представить как суммы показателей содержания в породах соответствующих компонентов:

$$W_{\Sigma, M} = \frac{M_{л} + M_{н.в}}{M_{м.пор}} = I_{\Sigma, M} + W_{м, н. в} = I_{м, ц} + I_{м, с} + W_{м, н. в}; \quad (15)$$

$$w_{\Sigma, M} = \frac{M_{л} + M_{н.в}}{M_{с.пор}} = i_{\Sigma, M} + w_{м, н. в} = i_{м, ц} + i_{м, с} + w_{м, н. в}; \quad (16)$$

$$W_{\Sigma, ОБ} = \frac{V_{л} + V_{н.в}}{V_{м.пор}} = I_{\Sigma, ОБ} + W_{ОБ, н. в} = I_{ОБ, ц} + I_{ОБ, с} + W_{ОБ, н. в}; \quad (17)$$

$$w_{\Sigma, ОБ} = \frac{V_{л} + V_{н.в}}{V_{с.пор}} = i_{\Sigma, ОБ} + w_{ОБ, н. в} = i_{ОБ, ц} + i_{ОБ, с} + w_{ОБ, н. в}. \quad (18)$$

Все рассмотренные выше показатели содержания льда и незамерзшей воды в мерзлых породах связаны между собой, что позволяет экспериментально определять не все из них, а только те, определение которых возможно на имеющемся оборудовании.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазуров Г.П. Физико-механические свойства мерзлых грунтов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1975. – 215 с.
2. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная): Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1973. – 448 с.
3. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мерзлых пород и льдов. – Пушино: ОНТИ ПНЦ РАН, 1998. – 515 с.
4. Янченко Г.А. Показатели влажности и влагосодержания горных пород и взаимосвязи между ними // Горнопромышленные ведомости: информационный бюллетень. – 2013. – № 6. – С. 81–91.
5. Большая Советская энциклопедия. – М.: Сов. энциклопедия, Т. 5. Вешин-газлы, 1971. – 640 с.
6. Корнеева Т.В. Толковый словарь по метрологии, измерительной технике и управлению качеством. Основные термины: около 7000 терминов. – М.: Рус. яз., 1990. – 464 с.
7. Цытович Н.А. Механика грунтов: Учебное пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Госстройиздат, 1963. – 636 с.
8. ГОСТ Р 50544-93. Породы горные. Термины и определения. Введен впервые; Введ. 31.03.93. Изд-во стандартов, 1993. – 47 с.
9. Бельченко Е.Л. Физические процессы при разработке связанных многолетнемерзлых пород: Учебное пособие для вузов. – М.: Изд-во МГТУ, 2000. – 199 с.
10. Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А. и др. Грунтоведение: Класси-

- ческий университетский учебник / Под ред. Трофимова В.Т. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
11. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): Учебник для строит. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983. – 288 с.
12. Антонов А.Ф., Велли Ю.А., Гальперин В.В. и др. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах / Под ред. Ю.А. Велли, В.И. Докучаева, Н.Ф. Федорова. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1977. – 552 с.
13. Панюков П.Н. Инженерная геология: Учебник для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Недра, 1978. – 296 с.
14. Рашкин А.В., Авдеев П.Б., Железняк И.И., Субботин Ю.И. Подготовка мерзлых горных пород к разработке в суровых климатических условиях: Учебное пособие. – Чита: ЧитГТУ, 2001. – 79 с.
15. Горная энциклопедия / Гл. ред. Е.А. Козловский; Ред. кол.: М.И. Агашков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. – М.: Сов. энциклопедия. Т. 3. Кенган – Орт. 1987. – 592 с.
16. Янченко Г.А. О показателях плотности горных пород и минералов // Известия вузов. Горный журнал. – 2007. – № 4. – С. 139–149.
17. Янченко Г.А. К вопросу о стандартных справочных данных плотностных свойств горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 111–115. **ПЛАБ**



**INDICATORS OF CONTENT OF ICE AND WATER UNFROZEN  
IN THE FROZEN ROCKS AND SOILS**

Yanchenko G.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Mining Institute,  
National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia, e-mail: ud@msmu.ru.

Made a brief analysis of the available technical literature on indicators of content-ice and unfrozen water in the frozen rocks and soils showed that no single approach to well-established terms and definitions of these indicators. This creates certain difficulties in reading the relevant technical literature and obtained by the use of this information in practice. Indicators and their terms must clearly specify what constitutes a particular figure, the principle of its definition and measurement units respectively. It is shown that the most rational content of all indicators of ice and unfrozen water in the frozen rocks and soils to determine their state of the frozen and dry. It is possible to form a unified approach to the methods of determining how well-known figures, and first proposed by the author, and articulate their terms.

Key words: rocks, soil, total moisture, the total moisture content, interaction, ldisitost, lidosoderzhanie, ldonasyschenie, content were unfrozen water.

**REFERENCES**

1. Mazurov G.P. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva merzlykh gruntov*, 2-e izd. (Physical and mechanical properties of frozen soils, 2nd edition), Leningrad, Stroyizdat, Leningradskoe otdelenie, 1975, 215 p.
2. Tsytoich N.A. *Mekhanika merzlykh gruntov (obshchaya i prikladnaya): uchebnoe posobie dlya vuzov* (Mechanics of frozen soils (general and applied): Higher educational aid), Moscow, Vysshaya shkola, 1973, 448 p.
3. Frolov A.D. *Elektricheskie i uprugie svoystva merzlykh porod i l'dov* (Electrical and elastic properties of frozen rocks and ice), Pushchino, ONTI PNTs RAN, 1998, 515 p.
4. Yanchenko G.A. *Gornopromyshlennye vedomosti: informatsionnyy byulleten'*. 2013, no 6, pp. 81–91.
5. *Bol'shaya Sovetskaya entsiklopediya*, T. 5. Veshin-gazli (Great Soviet Encyclopedia, vol. 5, Veshin-gazli), Moscow, Sov. entsiklopediya, 1971, 640 p.
6. Korneeva T.V. *Tolkovyy slovar' po metrologii, izmeritel'noy tekhnike i upravleniyu kachestvom. Osnovnye terminy: okolo 7000 terminov* (Dictionary of metrology, measurement technology and quality management. Key terms: about 7000 terms), Moscow, Russkiy yazyk, 1990, 464 p.
7. Tsytoich N.A. *Mekhanika gruntov: uchebnoe posobie dlya vuzov*, 4-e izd. (Soil Mechanics: Higher educational aid, 4th edition), Moscow, Gosstroyizdat, 1963, 636 p.
8. *Porody gornye. Terminy i opredeleniya. GOST R 50544-93* (Breed mountain. Terms and definitions. State Standart R 50544-93), Moscow, Standarty, 1993, 47 p.
9. Bel'chenko E.L. *Fizicheskie protsessy pri razrabotke svyaznykh mnogoletnemerzlykh porod: uchebnoe posobie dlya vuzov* (Physical processes in the development of connected permafrost: Higher educational aid), Moscow, Izd-vo MGGU, 2000, 199 p.
10. Trofimov V.T., Korolev V.A., Voznesenskiy E.A. *Gruntovedenie: Klassicheskiiy universitetskiiy ucheb-nik*. Pod red. Trofimova V.T., 6-e izd. (Soil: Classical university textbook, V.T. Trofimov (Ed.), 6th edition), Moscow, Izd-vo MGU, 2005, 1024 p.
11. Tsytoich N.A. *Mekhanika gruntov (kratkiy kurs): Uchebnik dlya stroit. vuzov*. 4-e izd. (Soil Mechanics (short course): Textbook for builds. universities, 4th edition), Moscow, Vysshaya shkola, 1983, 288 p.
12. Antonov A.F., Velli Yu.A., Gal'perin V.V. *Spravochnik po stroitel'stvu na vechnomerzlykh gruntakh*. Pod red. Yu.A. Velli, V.I. Dokuchaeva, N.F. Fedorova (Velli Yu.A., Dokuchaev V.I., Fedorov N.F. (Eds.)), Leningrad, Stroyizdat, Leningradskoe otdelenie, 1977, 552 p.
13. Panyukov P.N. *Inzhenernaya geologiya: Uchebnik dlya vuzov* (Engineering geology: Textbook for universities, 2nd edition), Moscow, Nedra, 1978, 296 p.
14. Rashkin A.V., Avdeev P.B., Zheleznyak I.I., Subbotin Yu.I. *Podgotovka merzlykh gornykh porod k razrabotke v surovyykh klimaticheskikh usloviyakh: Uchebnoe posobie* (Preparation of frozen rocks in the development of the harsh climatic conditions: Educational aid), Chita, ChitGTU, 2001, 79 p.
15. *Gornaya entsiklopediya*. Gl. red. E.A. Kozlovskiy; Red. kol. M.I. Agashkov, N.K. Baybakov, A.S. Boldyrev (Mountain Encyclopedia, Kozlovskiy E.A. (Editor in chief), Editorial board: Agashkov M.I., Baybakov N.K., Boldyrev A.S.), Moscow, Sov. entsiklopediya, vol. 3. Kengan Ort. 1987, 592 p.
16. Yanchenko G.A. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*. 2007, no 4, pp. 139–149.
17. Yanchenko G.A. *Gornyy informatsionno-analiticheskiiy byulleten'*. 2011, no 8, pp. 111–115.