

**В.В. Коростовенко, Н.В. Морозова, Е.Л. Егорова,
В.А. Миронкин, В.Н. Морозов**

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ИСКУССТВЕННЫХ СУШЕНЦОВЫХ ПОЛЕЙ НА ВЫСОКОЛЬДИСТЫХ РОССЫПЯХ

Рассмотрены вопросы создания искусственных сушенцов на многолетнемерзлых россыпях с высоким содержанием льда (30—60 %). Проведенные исследования показали, что при нарушении теплоизолирующего слоя в комплексе с проходкой горизонтальных дрен происходит протаивание торфов и создание искусственных сушенцов с минимальными затратами. На этой основе разработана методика расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых зон на вскрыше торфов при разработке россыпных месторождений.

Ключевые слова: россыпные месторождения, искусственные сушенцы, торфа, теплоизолирующий слой, высокольдистая россыпь, фильтрация, оттайка.

В процессе наблюдений за состоянием многолетнемерзлых торфов при разработке россыпей с высоким содержанием льда (30—60 %) было выявлено, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит интенсивная оттайка за счет нарушения теплового обмена, что приводит к протаиванию торфов и при последующем дренаже к созданию искусственных сушенцов. Природные сушенцовые зоны, как правило, приурочены к русловой фации аллювиальных отложений. Причем до начала отрицательных температур на таких отложениях существовали хорошие условия для их дренирования. Это обстоятельство позволило предположить, что на высокольдистых россыпях для создания сушенцовых зон достаточно снять почвенно-растительный слой и создать условия для дренажа. Технология подготовки искусственных сушенцов, как уже отмечалось ранее [1], состоит из двух основных элементов: оттаивания мерзлых торфов (обычно

фильтрационно-дренажным способом или с помощью буровых скважин) и уменьшения влажности отложений до критической величины (3,5 %) при помощи дренирования оттаянного массива. После этого торфа готовы к круглогодичной разработке. На высокольдистых россыпях основная задача состоит в правильном выборе места проходки горизонтальных дрен и их параметров. В связи с этим возникла идея использовать естественное оттаивание на высокольдистых россыпях с целью создания искусственных сушенцов и, учитывая большое протаивание торфов, уменьшения затрат на вскрышные работы.

Тепловая мелиорация считается наиболее экономичной, так как рассматривает оттайку многолетнемерзлых торфов, основанную на использовании естественной тепловой энергии солнца.

Актуальность научных исследований, направленных на изучение оттайки торфов под воздействием сол-

нечной радиации обуславливается значительными объемами разведанных запасов россыпных месторождений с высоким содержанием льда.

В теплый период года основной целью является увеличение теплового потока в породы, а тем самым и величины протаивания торфов и объема сушенцов. Это достигается за счет уборки поверхностного теплоизолирующего слоя и перераспределения тепла, приходящего в торфа и уходящего в атмосферу. Для изучения этих процессов были проведены промышленные эксперименты на одном из россыпных месторождений касситерита Саха (Якутия).

Методика исследования

Изучение влияния льдистости пород на эффективность подготовки искусственных сушенцов в зависимости от продолжительности воздействия солнечной радиации производилось по результатам маркшейдерских замеров исследуемой поверхности. Для обеспечения точности выполнения высотной съемки применялось нивелирование площадей по квадратной сетке. В зависимости от размера, формы и расположения исследуемой поверхности, сетка сориентирована параллельно координатным осям. Сетку предварительно построили на плане, а затем перенесли на натуру. Для этого от ближайшего пункта съемочного обоснования аналитическим способом определяли разбивочные элементы двух- трех вершин сетки. После их перенесения на местность полярным способом остальные вершины сетки определялись при помощи рулетки по створам. Линии сетки пронумерованы в единой системе, в основе которой сторона квадрата — 10 м. По одному из направлений сетки (У), линии пронумерованы четными цифрами, по другому (Х) — нечетными. Съемка контуров блоков произ-

водилась от ближайших вершин сетки методом ординат. Так как площадь исследуемых блоков небольшая, то их контуры снимали с точностью, соответствующей масштабу 1:1000.

Как при фильтрационно-дренажном способе гидравлического оттаивания, так и при естественном оттаивании, искусственно питаемый фильтрационный поток движется не вертикально вверх, а горизонтально, по напластованиям, под влиянием уклона свободного уровня. При подготовке искусственных сушенцов на высокольдистых россыпях (с содержанием льда 30 % и более) оттайка торфов происходит за счет солнечной радиации по всей площади полигона. И в этом случае большую роль в эффективности процесса оттайки играют место заложения и параметры дренажных канав.

Длина путей горизонтальной фильтрации с площади полигона до выхода воды в дренирующую горную выработку может составлять 20 — 80 м [2, 3]. Это расстояние назначается в зависимости от возможной конечной глубины оттаивания торфов, их фильтрационных свойств и допустимой продолжительности работ. Меньшее расстояние обеспечивает более интенсивное оттаивание.

Период наблюдения за оттайкой торфов в исследуемых блоках составил 4 года. Льдистость горных пород находилась в пределах от 30 до 60 %.

В период исследований фиксировалась температура воздуха. Средняя температура воздуха составила: последняя декада мая +5 °С; июнь +15 °С; июль +20 °С; август +10 °С; первая декада сентября +3 °С. Объем глубины протаявших горных пород определялся по результатам горизонтальной и вертикальной съемок. Основным методом подсчета был использован способ среднего арифметического, при котором объем определялся по формуле

$$V_m = S_6 h_{cp}, \quad (1)$$

где S_6 — площадь исследуемого блока в среднем его сечении, m^2 ; h_{cp} — средняя глубина протаивания (мощность сушенцово́й зоны), м.

Площади исследуемых блоков измерялись по замерным калькам с помощью планиметра по верхним и нижним бровкам. Средняя площадь определялась как среднеарифметическое из полученных результатов.

Замерные кальки исследуемых полигонов представляют собой светокопию с рабочего плана горных работ, на которые нанесены квадратные сетки с оцифровкой и положением разведочных линий. Против соответствующих вершин сетки указана высота протаивания торфов, которая равна разности высотных отметок на начало и конец периода наблюдений. Среднее значение глубины протаивания пород

$$h_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \quad (2)$$

где h_i — разность высотных отметок в отдельных вершинах сетки на начало и конец наблюдений, м; n — число вершин сетки, принятых для определения средней мощности подготовленных сушенцов.

Результаты исследований

Результаты наблюдений и распределения объемов протаивания торфов по месяцам представлены в табл. 1. Из табл. 1 видно, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту глубины протаивания торфов от 2,07 до 4,64 м.

На первый взгляд, результаты проведенных исследований достаточно неожиданны. Как известно накопление талого слоя торфов резко снижает последующую оттайку. Для объяснения выявленных закономерностей необходимо коснуться некоторых

особенностей физико-механических свойств высокольдистых пород. Учитывая низкие коэффициенты фильтрации мерзлых торфов, т.е. медленное проникновение воды в массив, следует ожидать высокие градиенты потенциала почвенной влаги в поверхностном слое.

Следовательно, образование этих градиентов приводит к формированию напряженного состояния в контактном слое между уже талой и мерзлой породой, что вызывает развитие зон микротрещиноватости. Последнее обуславливает более интенсивное проникновение воды в породу по трещинам и распространение расклинивающего давления. В комплексе с проходкой горизонтальных дрен для отвода воды, обеспечивается интенсивная оттайка мерзлой породы при накоплении талого слоя, результатом чего и является большой объем протаивания торфов — искусственных сушенцов.

Следует обратить внимание, что понижение интенсивности протаивания торфов (табл. 1) приурочено к снижению уровня льдистости до 30 %.

Регрессионный анализ позволил получить математические модели динамики объемов искусственных сушенцов (по программе полинома 2-ой степени):

- по блоку 3 с содержанием льда 50 % объем подготовленных сушенцов составит (в m^3/m^2),

$$V_3 = 3,34 \left[(T' - 16,45)^2 \right] - 2,78 \left[(t' - 13,81)^2 \right] + 514,93, \quad (3)$$

где T , t' — эмпирические значения, зависящие от продолжительности воздействия солнечной радиации и температуры воздуха.

$$T' = 0,96T + 0,29t, \quad (4)$$

$$t' = -0,31T + 0,95t, \quad (5)$$

где T — температура воздуха, град.; t — продолжительность протаивания торфов, сут.

• по блоку 2 с содержанием льда 40 % объем сушенцов можно определить по следующей формуле (в $\text{м}^3/\text{м}^2$),

$$V_2 = 45,38 \left[(T')^2 + 2,87T' + 2,05 \right] - 35,38 \left[(t')^2 + 17,82t' + 79,4 \right] + 15702,14, \quad (6)$$

$$\text{где } T' = 0,97T + 0,022t, \quad (7)$$

$$t' = -0,23T + 0,022t, \quad (8)$$

• по блоку 1 с содержанием льда 30 % объем сушенцовой зоны составит (в $\text{м}^3/\text{м}^2$)

$$V_1 = 9,79(T' + 8,1)^2 - 1,95(t' - 24,11)^2 + 614,21, \quad (9)$$

$$\text{где } T' = 0,99T + 0,16t, \quad (10)$$

$$t' = -16T + 0,99t, \quad (11)$$

По данным мерзлотной службы карьера, теплопроводность торфов составила 2,1 Вт/м·град, объемная теплоёмкость торфов — 350 Вт ч/м³. В период промышленных экспериментов был разработан и реализован еще один способ оттаивания массива торфов. Сущность способа заключается в следующем. По тальвегу россыпи на ее границе проходили зумпф для монтажа землесосной установки. Горизонтальные дрены проходили по двум сторонам блока, позволяя воду от протаивания торфов подавать в зумпф землесосной станции, откуда пульпа транспортировалась в отстойник оборотного водоснабжения.

Предложенная схема подготовки искусственных сушенцовых полей, позволяет избежать проходки дополнительных распределительных и оросительных канав, и что ещё важнее, обеспечить ускоренное удаление оттаявшей воды за пределы блока.

При подготовке искусственных сушенцов огромное значение приобретает качественное планирование намыва металла, объемов подготовленных запасов песков и необходимое опережение вскрышных работ с учетом подготовки сушенцовых зон.

Объем геологических запасов песков, подлежащих отработке в планируемом году в ходе промышленного эксперимента, определялся по формуле (в м^3)

$$V_n = \frac{A_n}{\varepsilon}, \quad (13)$$

где A_n — годовой объем промываемых песков, $\text{м}^3/\text{год}$; ε — коэффициент изменения объема песков, вследствие разубоживания и потерь, доли ед.

Тогда годовой объем искусственных сушенцов должен быть не менее,

$$V_b = V_n \delta, \quad (14)$$

где δ — коэффициент вскрыши, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Но в объеме V_b не отражено протаивание торфов и необходимое опережение вскрышных работ. В этом случае вскрышные работы могут быть представлены в виде баланса,

$$V' = V_1 - K_1 V_1 + K_2 V_2 + V_3, \quad (15)$$

где V_1, V_2 — соответственно объем вскрышных работ, подлежащих погашению за счет добычи песков текущего года и за счет добычи последующего года, м^3 ; K_1, K_2 — соответственно коэффициенты опережения вскрышных работ, выполненных за предыдущий год и в текущем году; V_3 — объем вскрышных работ, связанных со снятием поверхностного теплоизолирующего слоя, м^3 . Опережение вскрышных работ должно быть всегда больше объема, определяемого излишней мощностью торфов, которая не может быть отработана в блоке в год добычи песков по годовому понижению. Это опережение является теоретическим и наименьшим допустимым, поскольку для его соблюдения необходимо на-

чать вскрышные работы одновременно во всех блоках. Из этих положений наименьший коэффициент опережения при мощности россыпи, превышающей выемку годового понижения, определяется уравнением [4],

$$K = 1 - \frac{H_2 - P}{T}, \quad (16)$$

где H — среднегодовое понижение забоя, м; P — мощность пласта песков, м; T — мощность торфов, м.

При определении объема искусственных сушенцов производится оценка экономической эффективности способов оттайки и устанавливается глубина протаивания торфов (H'). Используя полученные зависимости, необходимая мощность сушенцовой зоны определится по уравнению (в м),

$$H' = H - H_{пр}, \quad (17)$$

Тогда коэффициент опережения вскрышных работ можно записать в виде

$$K = 1 - \frac{H_2 - P}{H'} \quad (18)$$

В действительности добычу песков в отдельных блоках производят в определенной последовательности по мере их отработки. Поэтому и подготовку искусственных сушенцов в блоках начинают через определенные промежутки времени, соответствующие продолжительности добычи песков на отдельных блоках. Этим обеспечивают не только равномерную добычу, но и равномерную вскрышу, что позволяет провести эти работы меньшим оборудованием. Исходя из этого, коэффициент опережения предлагается определять по формуле,

$$K_0 = \frac{H' - P}{T}, \quad (19)$$

Объем V_3 должен производиться на площади равной (в м²)

$$S = \frac{V'}{H'}, \quad (20)$$

Поверхностный теплоизолирующий слой, как правило, находится в пределах 0,5—1,0 м [3]. Тогда, объем V_3 составит (в м³),

$$V_3 = (0,5 \div 1)S, \quad (21)$$

Вовлечение в разработку более бедных песков потребовало более точного планирования намыва металла. Плановый годовой намыв металла определяется исходя из количества металла, находящегося в сушенцовой зоне по данным геологоразведки и среднего намывочного коэффициента за предыдущие годы отработки,

$$M_r = C_{cp} A_d v_{cp}, \quad (22)$$

где A_d — годовой объем промываемых песков, м³/год; C_{cp} — среднее содержание металла в промышленном контуре россыпи, г/м³; v_{cp} — средний намывочный коэффициент за предыдущие годы отработки, доли ед.

Теоретически величину намывочного коэффициента, используя выявленные закономерности, можно выразить следующим образом

$$v = \varepsilon \mu (\eta + \Delta\gamma_{\downarrow и}) / 100, \quad (23)$$

где ε — коэффициент изменения объема песков вследствие разубоживания и потерь, доли ед.; μ — коэффициент изменения содержания вследствие разубоживания и потерь, доли ед.; η — извлечение металла при обогащении, %; $\Delta\gamma_{\downarrow и}$ — степень повышения извлечения при выемке песков в режиме усреднения, %.

На основании многочисленных опробований хвостов отработки песков и анализа отработанных блоков нами установлено, что наиболее точно производить планирование по намыву металла при подготовке искусственных сушенцов можно исходя из теоретического намывочного коэффициента

$$M_r = C_{cp} A_d \varepsilon \mu \frac{\eta + \Delta\gamma_{\downarrow и}}{100}, \quad (24)$$

Выражение (24) позволяет учитывать изменение объема и содержания

Таблица 1

Распределение объемов сушеночных зон по месяцам

№ блока	Продолжительность наблюдений, т, сут.	Средняя температура воздуха, t, град.	Льдистость торффов, в, %	Площадь блока, S _б , м ²	Объем искусственных сушеночных месяцев, V _{ис.} м ³	Общий объем сушеночной зоны по блоку, V _{ос.} м ³	Мощность подтовленных сушеночных зон, H _{ос.} м ³ /м ²
1	1-ый год Июль, 31 Августа, 30 Сентября, 10 2-ой год, Май, 10 Июнь, 30 Июль, 3 115	+20 +10 +3 +5 +15 +20 T _{ср} =12	30	27200	8476 4205 418	13099	0,48
Итого по блоку №1 2	1-ый год, Май, 11 Июнь, 30 Июль, 31 Августа, 31 Сентября, 10 2-ой год, Май, 11 Июнь, 30 Июль, 31 Августа, 31 Сентября, 10 226	+5 +15 +20 +10 +3 +5 +15 +20 +10 +3 T _{ср} =10,6	40	28000	2199 18038 34852 12339 1205 733 16012 18284 4113 401	66633	2,45
Итого по блоку №2 3	1-ый год, Май, 11 Июнь, 30 Июль, 31 Августа, 31 Сентября, 10 226	+5 +15 +20 +10 +3	50	18400	225 18470 25440 1263 128	40010	4,64
Итого по блоку №3	2-ой год, Май, 11 Июнь, 30 Июль, 31 Августа, 31 Сентября, 10 226	+5 +15 +20 +10 +3 T _{ср} =10,6	50	18400	750 16150 18480 4210 420	40010	2,17
			50	18400		85536	4,64

металла исходя из снижения объемов вскрыши вследствие создания сушенцовых зон за счет протаивания торффов.

Выводы

Проведенные исследования показали, что при снятии поверхностного теплоизолирующего слоя происходит протаивание торффов. Это обстоятельство позволило реализовать идею создания искусственных сушенцовых зон с минимальными затратами на вскрышные работы.

При определении величины сушенцовой зоны возникает необходимость произвести общую оценку энергетических затрат, складывающихся из плавления льда и нагревания породы от начальной отрицательной температуры до конечной положительной. Скорость движения границы раздела фаз зависит от взаимодействия их температурных полей. В связи с этим основными факторами, определяющими объем сушенцов, являются температура воздуха, продолжительность водно-тепловой мелиорации, льдистость торффов.

Результаты наблюдений за изменением объемов искусственных сушенцов показали, что увеличение льдистости с 30 до 50 % приводит к росту мощности протаивания торффов от 2

до 4,6 м на кв. м. площади (табл.1). Предложенный коэффициент опережения вскрышных работ, учитывающий величину подготовленных сушенцов позволяет создать необходимый фронт добычных работ и снизить затраты на вскрышные работы.

Разработанная технология подготовки искусственных сушенцовых зон и снижение объемов вскрыши, вследствие протаивания торффов, позволило в ином аспекте рассмотреть вопрос планирования годового намыва металла.

Установлено, что более точно производить планирование по намыву металла можно исходя из теоретического намывочного коэффициента (ф-ла 24).

Разработанная методика планирования годового намыва металла позволяет учитывать изменение объема и содержания металла исходя из принятой технологии подготовки искусственных сушенцов. и снижения объемов вскрыши.

При календарном планировании вскрышных работ (ф-ла 15) определяются объемы вскрыши с учетом мощности протаивания торффов, объема искусственных сушенцов, а также площади, где необходимо произвести снятие поверхностного теплоизолирующего слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В.Н., Морозова Е.Л. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009. № 3. — С. 66—68.

2. Морозов В.Н., Егорова Е.Л., Морозова Н.В. // Журнал Сибирского Федерального университета /Техника и технологии. 2010. №3 (4). — С. 396—405.

3. Гольдтман В.Г., Знаменский В.В., Чистопольский С.Д. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород. Магадан: ВНИИ-1, 1970 г. XXX. — 440 с.

4. Шорохов С.М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений. — М.: Недра, 1973. — 768 с.

5. Перлыштейн Г.З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на Северо-востоке СССР. — Новосибирск: Наука, 1979. — 232 с. **ИЛАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Коростовенко Вячеслав Васильевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, e-mail: korostovenko@mail.ru

Морозова Надежда Валентиновна — ведущий инженер

Егорова Елена Леонидовна — кандидат технических наук, доцент, e-mail: Elena6119@yandex.ru;

Миронкин Виктор Алексеевич — кандидат технических наук, доцент, e-mail: vstatkus@mail.ru,

Морозов Валентин Николаевич — кандидат технических наук, доцент, e-mail: GGDS21209909@yandex.ru,

Сибирский федеральный университет.