

## РАЗРАБОТКА МОДЕРНИЗИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОСЕЛЕВОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЕЗАДЕРЖИВАЮЩЕГО СООРУЖЕНИЯ СКВОЗНОГО ТИПА

*О. Н. Гетто*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Кортунова - филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Россия, getto62@mail.

### **Аннотация**

Цели данной работы:

- предложить модернизированную конструкцию селезащиты, базирующуюся на известной конструкции гибкого селезадерживающего барьера.
- разработать научно-практическое обоснование инженерной защиты пролонгированного действия.

Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, предложены и внедрены десятки противоселевых сооружений. При рассмотрении опубликованных работ следует отметить, что для предохранения от вредного воздействия селевых потоков предложен целый ряд конструкций. Их действия в основном привязаны к первоначальному этапу работы. После схода достаточно большого объёма селевых масс конструкция переполняется и перестаёт выполнять свои функции.

Учитывая короткий срок работы данных конструкций, нами предлагается модернизированная конструкция, которая обеспечит долговременную работу.

Она выполняется на базе известной сетчатой конструкции, которая по краям освобождается от заградительных колец. Это позволит части селевого потока в виде крупных включений задерживаться в центре конструкции, где наблюдается максимальная скорость потока, а другой – обходить по краям не задерживаясь.

Для оценки работы предложенной сетчатой конструкции были проведены экспериментальные исследования в учебной лаборатории института. Для этого использовалась экспериментальная установка, описанная в статье.

Согласно проведённым опытам сетчатые конструкции должны проектироваться с относительной шириной  $b = 0,43 \dots 0,70$  в зависимости от поставленной задачи.

**Ключевые слова:** селевой поток, стихийные бедствия, селевые паводки, селезащита, противоселевые сооружения.

## **DEVELOPMENT OF AN UPGRADED DESIGN OF DEBRIS FLOW**

*O. N. Getto*

### **Abstract**

Objectives of this work:

- to propose an upgraded design of spillage protection based on the well-known design of a flexible spillage barrier.
- to develop a scientific and practical justification of engineering protection of prolonged action.

A significant number of scientific papers have been devoted to the study of mudflow phenomena, dozens of anti-mudflow structures have been proposed and implemented. When studying published works, it should be noted that a number of designs have been proposed to protect against the harmful effects of mudflows. Their actions are mainly tied to the initial stage of work. After the descent of a sufficiently large volume of mudflows, the structure overflows and ceases to perform its functions.

Taking into account the short period of operation of these structures, we propose an upgraded design that will ensure long-term operation.

It is performed on the basis of a well-known mesh structure, which is freed from the barrier rings at the edges. This will allow a part of the mudflow in the form of large inclusions to linger in the center of the structure, where the maximum flow velocity is observed, and the other to bypass the edges without lingering.

To evaluate the work of the proposed mesh structure, experimental studies were conducted in the educational laboratory of the Institute. For this purpose, the experimental setup described in the article was used.

According to the experiments carried out, mesh structures should be designed with a relative width  $b = 0.43 - 0.70$ , depending on the task at hand.

**Keywords:** debris flow, natural disasters, mudflow floods, debris protection, anti-mudflow structures.

**Введение.** Селевые потоки вписали многие мрачные страницы в историю борьбы человека с природой. Гибель людей, частично или полностью уничтоженные населённые пункты, разрушенные мосты и дороги, занесённые поля и сады, расходы на ликвидацию последствий вредного воздействия селей и на селезащиту – вот та цена, которую платит человечество за недосмотр, неумение, опрометчивость, за пренебрежение к селевым потокам [1].

**Актуальность работы.** Наиболее селеопасным районом России является Северный Кавказ. В пределах только северного склона Большого Кавказа насчитывается более 1700 селевых бассейнов общей площадью 7000 км<sup>2</sup>. Средняя их площадь составляет 4,0 км<sup>2</sup> при минимальной 0,20 км<sup>2</sup> и максимальной 173,8 км<sup>2</sup>. Кроме того, в регионе имеется много речных русел, в которых непосредственно формируются селевые паводки. Общая их протяженность более 3000 км [2].

В последние десятилетия из-за интенсивного освоения территорий, связанных со строительством различных магистралей и объектов, число селей не уменьшается, приводя к негативным последствиям в экономике и жизни людей.

Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, библиографический список их состоит из сотен названий. Среди них большой известностью пользуются работы П. С. Непорожного [3], Н. С. Дюрнбаума [4], М. С. Гогошидзе [5–7], С. М. Флейшмана [8], И. В. Боголюбовой [9] и др.

Наиболее активные и плодотворные исследования селей проводились с конца 1950-х по конец 1980-х. В это время была сформирована «советская школа» специалистов, представители которой работали в геологических организациях, проектных и исследовательских институтах, гидрометеослужбе, академиях наук.

Изучению селевых явлений посвящено значительное число научных трудов, библиографический список их состоит из сотен названий.

Они провели изучения селей на территориях:

Азербайджана (И. И. Мечитов, Б. А. Будагов, С. Г. Рустамов),

Армении (И. В. Егизаров, В. Саноян, Р. Г. Асатрян, М. В. Цовян),

Грузии (М. С. Гагошидзе, К. Р. Бегешвили, И. И. Херхеулидзе, Г. М. Беругашвили, В. И. Тевзадзе, Э. Д. Церетели, Г. И. Херхеулидзе),

Казахстана (Ю. Б. Виноградов, А. П. Горбунов, Н. С. Дюрнбаум, С. П. Кавецкий, А. П. Мочалов, Г. Д. Рождественский, Б. С. Степанов, Р. В. Хонин),

Киргизии (М. И. Иверонова),

России (И. В. Боголюбова, А. В. Ермаков, Э. В. Запорожченко, В. Е. Иогансон, В. К. Лапердин, В. Ф. Перов, И. Б. Сейнова, М. Ф. Срибный, Ю. Б. Тржцинский, С. М. Флейшман, А. И. Шеко),

Узбекистана (Ф. К. Кочерга),

Украины (М. М. Айзенберг, Б. Л. Величко, Б. М. Гольдин, Б. Н. Иванов, А. Н. Олиферов),

Таджикистана (И. А. Моссаковская, О. В. Тукеев, М. Р. Якутилов),

Туркмении (Н. М. Трофимов) [10].

По созданным в СССР проектам были построены селезащитные сооружения различных типов.

Объем русскоязычной литературы по селевой проблеме составляет около 5500 названий.

При рассмотрении опубликованных работ следует отметить, что для предохранения от вредного воздействия селевых потоков предложен целый ряд конструкций. Их действия в основном привязаны к первоначальному этапу работы. В настоящее время возникает необходимость в пролонгированной защите.

В последнее время широко применяются сквозные сетчатые заграждения (селезадерживающие сооружения). Они просты по конструкции, установке, экономичны. Однако они быстро по времени забиваются грязекаменной массой и в дальнейшем работают как водослив, обеспечивающий повышение силы, вызывающей перемещение селевого потока.

Одним из лидирующим в части сеточных заграждений является компания Geobrugg. Специалистами этой компании разработаны системы для инженерной защиты населения и инфраструктуры от оползней и селей, большое количество разработок применялось при строительстве защитных сооружений Олимпиады в Сочи) [11].

Учитывая короткий срок работы данных конструкций, нами предлагается модернизированная конструкция, которая обеспечит долговременную работу.

**Целью** работы является научное обоснование селезащиты пролонгированного действия.

Для достижения вышеуказанной цели поставлены **задачи**:

– разработка селезащиты пролонгированного действия;

– научно-практическое обоснование инженерной защиты пролонгированного действия.

**Научная новизна.** В результате проведённых исследований получены:

– модернизированная сетчатая конструкция;  
– зависимости для определения характеристик селевого потока при прохождении через модернизированную сетчатую конструкцию.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость работы заключается в повышении срока службы и эффективности защиты от селей.

**Материалы и методы.** При проведении экспериментальных исследований использовался эмпирический метод – наблюдение.

**Результаты и обсуждение.** Для обеспечения долговременной работы сетчатой конструкции предлагается по краям освободить её от заградительных колец (на рисунке 1 синими стрелками показаны ориентировочные места отсечки).



**Рисунок 1** – Сетчатая конструкция

Это позволит части селевого потока в виде крупных включений задерживаться в центре конструкции, где наблюдается максимальная скорость потока, а другой – обходить по краям не задерживаясь.

В результате аналитического мышления имеем:

– из-за разделения селевого потока в пределах сооружения происходит снижение динамического воздействия на конструкцию;

– в зоне подпора и в пределах сооружения формируется неравномерное движение, т.к. величина и в этих зонах отличается от уклона тальвега. По этой причине возникает распад структуры селевого потока.

После первого прохождения селевого потока, в последующем, при сходе селей будет наблюдаться только распад структуры потока, чем и обеспечивается частичное селезадержание и работоспособность конструкции.

Для выявления других факторов работы предложенной сетчатой конструкции были проведены экспериментальные исследования, приведённые ниже.

**Исследование сетчатой конструкции.** Исследования движения потока проводились в учебной лаборатории института. Для этого использовалась экспериментальная установка, показанная на рисунках 2 а, б, в.





в)

**Рисунок 2** – Экспериментальная установка

Она представляет собой сооружение (рисунок 2а), включающее входную часть (рисунок 2б), лоток быстротока с усиленной шероховатостью (рисунок 2в), выходную часть. Ширина исследуемой части лотка – 14 см, уклон 0,0982.

Исследуемая модель (рисунок 3) выполнена из двух металлических пластинок, в каждой из которых напротив друг друга просверлены отверстия с пролётами 2 см, 6 см и 10 см. Нижняя пластинка крепилась ко дну пластилином, а верхняя – прищепками к боковой стенке и перегородке в лотке.

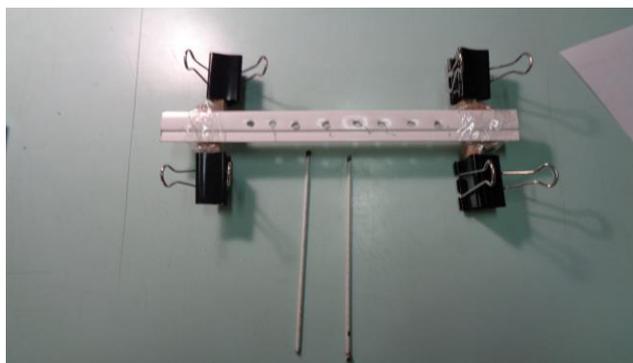
Сетчатая часть конструкции моделировалась двумя металлическими сетками ( $L=6$  см и  $L=11$  см) с диаметром отверстий менее 1 мм.

Для крепления сетки к пластинам использовались две металлические спицы, пропущенные через отверстия с образованием исследуемой ширины (пролёта) конструкции.

В качестве селевой массы использовалась мокрая стружка.

Модель располагалась в начале лотка, перед искусственной шероховатостью, имитирующей препятствия на пути селевого потока (рисунок 4).

Моделировался несвязный селевой поток в турбулентном режиме ( $Q=0,010-0,013$  м<sup>3</sup>/с,  $V=0,621$  м/с). Его движение подчиняется законам гидравлики.



**Рисунок 3** – Элементы модели сетчатой конструкции



**Рисунок 4** – Модель сетчатой селезадерживающей конструкции в сборе

Цель проводимых экспериментов – визуально провести наблюдения за работой сетчатой конструкции при различных её положениях и пролётах.

Вначале были проведены опыты по определению движения потока по лотку с размещёнными в нём различными по форме сетчатыми барьерами. Для этого конструкции устанавливалась в виде бычка полуциркульной (рисунок 5), криволинейной вогнутой (рисунок 6) и прямоугольной форм (рисунок 7).

В результате исследований установлено, что поток плавно огибает конструкцию полуциркульной формы, изменяя своё направление к боковым поверхностям лотка, не поднимаясь выше конструкции. Опилки при этом не задерживаются.

При движении потока по лотку с сетчатой конструкцией поток проходит с меньшим отклонением к боковым стенкам, но с большим бурлением и вылетом воды из конструкции. Часть опилок данным барьером задерживается.

В случае сетчатой конструкции прямоугольной формы происходит бурное гашение потока без задержания опилок.

Учитывая то, что задерживаемая крупная масса селевого потока перед конструкцией является дополнительным гасителем энергии, то рекомендуемым сетчатым ограждением считаем конструкцию с криволинейной вогнутой формой.



**Рисунок 5** – Модель в виде бычка полуциркульной формы



**Рисунок 6** – Модель в виде бычка криволинейной вогнутой формы



**Рисунок 7** – Модель в виде бычка прямоугольной формы

Дальнейшей задачей опытов являлось определение эффективности сетчатой конструкции в зависимости от ширины пролёта.

При обтекании сетчатой конструкции с шириной пролёта 2 см, относительной шириной  $\underline{b} = 2/14 = 0,14$ , (рисунок 8) поток практически не претерпевает изменений и не задерживает селевую массу.

Обтекание сетчатого заграждения в 6 см (относительной шириной  $\underline{b} = 0,43$ ) (рисунок 9) происходит со снижением скорости за барьером. В этом случае происходит неравномерное движение, вызывающее распад селевого потока.

Аналогично происходит движение потока через сетчатое заграждение шириной 10 см (относительная ширина  $\underline{b} = 0,70$ ) (рисунок 10). Также за сеткой, но уже большей ширины, образуется язык меньшей скорости и несколько большей по бокам лотка, что вызывает частичное гашение селевого потока.

Таким образом, согласно опытам сетчатая конструкция должна проектироваться с относительной шириной  $\underline{b} = 0,43 \dots 0,70$  в зависимости от поставленной задачи.



**Рисунок 8** – Протекание потока через барьер пролётом 2 см



**Рисунок 9** – Обтекание потока барьера в 6 см



**Рисунок 10** – Обтекание потока через модель с шириной сетки в 10см

**Теоретический расчёт параметров потока при селезадержании сетчатой конструкцией. Анализ основных положений к расчёту сетчатой конструкции.** Факторами образования селей на начальном этапе являются делювий и вода. Образование делювия можно частично уменьшить организационно-техническими мероприятиями. Что касается воды,

образующейся в результате ливня, то её возникновение невозможно погасить, возможно только прогнозировать за небольшой промежуток времени до прохождения осадков в виде дождя. Внезапность проявления воды характерна и для других случаев начала селевого процесса.

Подготовка к сходу селя длится продолжительное время, но проходит он мгновенно. В период прохождения негативный процесс сложно остановить, его лишь можно прогнозировать или частично погасить.

В движении селя участвуют:

1. Грязевой поток, который можно задержать, пропустить или частично погасить его движение.

2. Вода, которую частично можно задержать или снизить расход путём снижения скорости.

3. Уклон, который можно на небольших участках изменять для гашения скорости.

Во всех 3-х случаях процесса участвует скорость. Она определяется режимом движения, свойствами селевой массы, морфологическими характеристиками русла.

Основываясь на вышеизложенном, и базируется расчёт предложенной сетчатой конструкции.

**Расчёт предлагаемой конструкции.** При движении селя к расчётной конструкции средняя скорость селевого потока определяется [12]

а) для связных селей

$$V_{с.с} = 3,75 * h^{0,5} * i^{0,17}, \quad (1)$$

где  $h$  – средняя глубина потока;  $i$  – уклон селевого потока.

б) для несвязных селей

$$V_{н.с} = 4,5 * h^{0,5} * i^{0,17}. \quad (2)$$

При этом максимальная скорость селевого потока равна

$$V_{max} = 1,8 V_{ср}. \quad (3)$$

Расход селя в этом случае равен

$$Q_c = V_{max} * \omega, \quad (4)$$

где  $\omega$  – живое сечение движущегося селевого потока.

Естественные русла по своему характеру отличаются от искусственных. В естественных руслах поперечные сечения, уклоны и коэффициенты шероховатости изменяются на различных участках водотока. Поэтому при расчёте естественных русел обычно пользуются фактическими данными промеров живых сечений. Однако не всегда есть возможность рассчитать естественное русло по материалам фактических изменений и наблюдений. В этих случаях производятся приближённые расчёты. В данном случае рассматриваем поперечное русло, по которому движется селевой поток, как прямоугольное, т.е.

$$\omega = B * h, \quad (5)$$

где  $B$  – ширина,  $h$  – высота селевого потока.

Их размеры принимаются по объекту-аналогу или по следам ранее прошедшего селя.

При переходе селевого потока через сетчатую конструкцию одна часть потока расходом  $Q_1$  проходит через сетку, частично задерживаясь и отклоняясь, две другие части расходами  $Q_2$ ,  $Q_3$  её обходят по бокам (в пролёты).

В этом случае, согласно проведённым исследованиям, первый поток преодолевает препятствие расходом  $Q_1 = Q_c * b$ , а две другие при равных пролётах  $Q_2 = Q_3 = (Q_c - Q_1) / 2$ .

При неравных пролётах расходы следует определять в зависимости от соотношения живых сечений потоков.

При движении потока через пролёт, что отмечено в процессе проведения исследований, происходит одностороннее сужение потока, а само истечение в гидравлическом отношении представляет собой водослив без донного выступа.

В этом случае, исходя из общей зависимости

$$Q = \omega_{сж} * V, \quad (6)$$

где  $\omega_{сж}$  - площадь сжатого сечения;

для незатопленного водослива имеем  $\omega_{сж} = \epsilon * b * h$  и, следовательно,

$$Q_{пр} = \epsilon * b_{пр} * h * V, \quad (7)$$

где  $\epsilon$  - коэффициент бокового сжатия; принимается в пределах: 0,85...0,95.

Отсюда, скорость в пролётах определяем по формуле

$$V = Q_{пр} / \epsilon * b_{пр} * h. \quad (8)$$

При движении потока через центральную часть конструкции происходит частичное задержание селевой массы. В этом случае на данном участке уклон дна изменяется в меньшую сторону (рисунок 11).

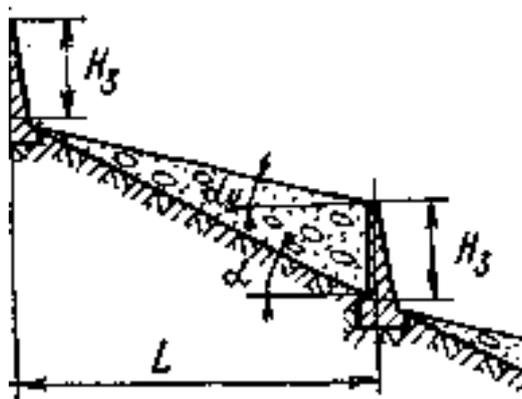


Рисунок 11 – Расчётная схема

Уклоны русла и участка задержанной селевой массы находим как

$$I_p = (H + dH) / l_y; \quad (9)$$

$$i_y = dH / l_y, \quad \text{где } H \text{ – высота сетчатой конструкции;} \\ dH \text{ – разность отметок конца отложения селевой массы и верха сетчатой конструкции.}$$

$$\text{Или } l_y = (H + dH) / i_p; \quad l_y = dH / i_y.$$

$$(H + dH) / i_p = dH / i_y.$$

$$i_y = i_p * dH / (H + dH).$$

При неполном заполнении конструкции селевой массой

$$i_y = i_p * dH / (H - dH).$$

В доказательство приводим пример расчёта.

Дано: Высота сетчатого заграждения - 2,0м. Отметка конца отложения селевой массы 98.00, а отметка верха конструкции 99.00. Уклон русла  $i_p = 0,03$ .

**Решение.**  $dH = 99.00 - 98.00 = 1,0\text{м}.$

$$i_y = 0,03 * 1,0 / (2,0 + 1,0) = 0,01.$$

Основываясь на вышеизложенном, скорость в центральной части конструкции будет равна

а) для несвязных селей  $V_{н.с} = 4,5 * h^{0,5} * i_y^{0,17}.$   $V_{н.с} = 4,5 * 1^{0,5} * 0,01^{0,17} = 2,07 \text{ м/с};$

б) для связных селей  $V_{с.с} = 3,75 * h^{0,5} * i_y^{0,17}.$   $V_{с.с} = 3,75 * 1^{0,5} * 0,01^{0,17} = 1,725 \text{ м/с}.$

Создавая на участке построенной сетчатой конструкции разные скорости получаем расслоение потока, что благоприятно сказывается на селезащите.

**Заключение.** 1. Технические приёмы осуществления противоселевых мероприятий зависят от конкретных природных условий, наличия местных материалов и поставленных целей. Наиболее эффективной, но дорогой селезащитой является устройство в горной части селевых русел плотин или котлованов. Они создают ёмкость для вмещения всего объёма селевого потока. 2. Распространённые на практике сетчатые конструкции и запруды для задержания селей недостаточно эффективны из-за быстрого заполнения наносным материалом и сложности работ по очистке селевой массы. 3. Для снижения скорости селевого потока и повышения срока службы предложена модернизированная сетчатая конструкция. Согласно проведённым экспериментальным исследованиям она должна проектироваться с относительной шириной  $b = 0,43...0,70$  по полученным для теоретического расчёта зависимостям. 4. На основании теоретических исследований модернизированной сетчатой конструкции получены зависимости для определения расхода и скорости селевого потока.

#### Список цитированных источников

1. Таланов, Е. А. Селевой риск: теоретические основы и практическая значимость / Е. А. Таланов // Труды Международной конференции «Селевые потоки, катастрофы, риск, прогноз, защита». – Пятигорск, 2008. – С. 74–77.
2. Лурье, П. М. Состояние и перспективы изучения селевой деятельности на Северном Кавказе / П. М. Лурье // Труды Всероссийской конференции по селям, г. Нальчик, 26-28 окт. 2005 г. / Высокогорный геофиз. ин-т; Под. ред. М. Ч. Залиханова. – М. : ЛКИ, 2008. – С. 130–137.
3. Непорожний, С. С. Защита гидроэлектростанций от селевых потоков. М.–Л. : Госэнергоиздат, 1947. – 147 с.
4. Дюрнбаум, Н. С. Защита населённых мест от селевых (грязекаменных) потоков. – М.–Л. : Изд-во М-ва коммун. хоз-ва, 1949. – 155 с.
5. Гогошидзе, М. С. Общая характеристика горных потоков, селей, селеобразующих очагов и вопросы формирования селей. – В кн.: Труды юбилейной

- сессии, посвящ, 100-летию со дня рождения В. В. Докучаева. М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – С .446–451.
6. Гогошидзе, М. С. Характерные особенности селей, формирующихся в бассейнах горных рек Закавказья. – «Изв. Груз. науч.-исслед. ин-та гидротехники и мелиорации», 1949. – Т. 1. – С. 43–54.
  7. Гогошидзе, М. С. Селевые (грязекаменные) потоки и меры борьбы с ними. Л. : Гидрометеиздат, 1959, – С. 223–231. (Труды 3 Всесоюз. гидролог. съезда, Т.7).
  8. Флейшман, С. М. Селевые потоки и проектирование дорог в районе их распространения. – М. : Трансжелдориздат, 1955. – 147 с. (Труды ЦНИИС, Вып. 19).
  9. Боголюбова, И. В. Селевые потоки и их распространение на территории СССР. – Л. : Гидрометеиздат, 1957. – 152 с.
  10. Черноморец, С. С. Селевые исследования в России и странах бывшего Советского Союза: история и перспективы [Электронный ресурс] // Изменения природной среды на рубеже тысячелетий: Труды Международной электронной конференции. – Тбилиси-Москва, 2006. – С. 67–75. – URL: <http://www.cetm.narod.ru/pdf/chernomorets.pdf>
  11. Барьер для защиты от селевых потоков UX [Электронный ресурс] // URL:<https://www.geobrugg.com/ru/Debris-flow-barrier-UX-77745,7859.html>
  12. ОДМ 218.2.052-2015. Отраслевой дорожный методический документ. Проектирование и строительство противоселевых сооружений для защиты автомобильных дорог.
  13. Инструкция по проектированию и строительству противоселевых защитных сооружений (СН 518-79).
  14. Справочник по гидравлическим расчётам. Под редакцией П. Г. Киселёва. – М. : Энергия, 1972.

УДК 553.9

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ТАЛЫХ ВОД НА ИНФИЛЬТРАЦИЮ

*К. А. Глушко, К. К. Глушко*

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,  
dakner@mfil.ru

### **Аннотация**

Приведено сопоставление результатов исследования инфильтрации талых вод на осушенных торфяниках Белорусского Полесья, измеренной инструментальным и балансовым методом. Выявлена сопоставимость результатов. Однако результаты расчета, полученные балансовым методом, имеют большой разброс и большее число случайных величин генеральной совокупности.

**Ключевые слова:** талые воды, мерзлая почва, поверхностный сток, инфильтрация, сельскохозяйственные угодья.