

НАТУРНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ В ЛЕВОБЕРЕЖНОМ ПРИМЫКАНИИ ПЛОТИНЫ ДНЕСТРОВСКОГО КОМПЛЕКСНОГО ГИДРОУЗЛА

Анисимов К. И., Коломиец С. П. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса).

Приведены данные по исследованиям фильтрации левобережного примыкания Днестровской ГЭС, дается благоприятный прогноз дальнейшей работы сооружения.

Для уменьшения фильтрационных потерь в теле каменно-земляной плотины левобережного примыкания Днестровского комплексного гидроузла (ДКГ) была создана противофильтрационная завеса. Она состоит из двух частей. В аллювиальных отложениях выполнена двухрядная завеса, доведенная до отметки 103 м. В более глубоких слоях выполнена однорядная цементационная завеса. Ее проектная проницаемость не более 1 м/сутки на протяжении 75% длины и 3 м/сутки – на оставшихся 25%

При заполнении верхнего бьефа выше отметки 113 м были замечены в левобережном примыкании небольшие ручьи, расход которых возрастал. Их появление специалисты Украинского отделения Гидропроекта после проведения геофизических исследований связывали с наличием дефектов в завесе. Для проверки этого предположения нами были проведены наблюдения в течение трех лет за основными параметрами фильтрационного потока примыкания (фильтрационный расход, положение депрессионной поверхности, температура потока, химический состав профильтровавшей воды).

Исследование химического состава проводилось с целью определения источника питания ручьев и воды в дренаже и выявления процессов химической и механической суффозии. Исходя из условия получения полной информации о составе воды примыкания места отбора проб были следующими:

1. Акватория водохранилища.
2. Родник на отметке 101 м у плотины.

3. Колодец дренажа,
4. Ручьи в карьере суглинка, расположенные в низовой части примыкания. По данным изысканий, проводившихся до строительства гидроузла, химический состав подземных вод значительно отличался от современного. В настоящее время вода в акватории водохранилища и вода фильтрационного потока примыкания по своему составу близки, что свидетельствует о вытеснении природных грунтовых вод водой из водохранилища, которое и является главным источником питания ручьев в левобережном примыкании. Наиболее близки по своему химическому составу воды акватории и родника у плотины. На этом участке вода из водохранилища проходит кратчайший путь и не успевает смешаться с природными водами.

Пробы воды, взятые на значительном расстоянии от створа гидроузла, по своему химическому составу близки к природной воде. Это обстоятельство свидетельствует о том, что зона насыщения берегов водой из водохранилища не распространяется на большие расстояния, и находят выходы вблизи створа плотины.

Если проследить за изменением химического состава воды по пути ее движения в левобережном примыкании, то почти неизменное содержание контролируемых элементов в пробах воды свидетельствует об отсутствии процессов суффозии.

Для прямого измерения скоростей фильтрации на некоторых участках левобережного примыкания в качестве индикатора была применена соль, содержащая ион хлора, которая легко переносится водой и может быть просто выделена из нее. Незначительное содержание иона хлора в фильтрующих водах примыкания определило окончательный выбор его в качестве трассера. Изменение содержания индикатора в пробах воды определялось с помощью растворов солей K_2CrO_4 и Ag_2NO_3 титрованием, основанным на калориметрических (цветовых) реакциях при взаимодействии этих компонентов между собой.

Целью прямых измерений скорости являлась количественная оценка и проверка гипотезы о наличии в противифльтрационной завесе «окон», т. е. участков в районе пикета ПК 4+60 с коэффициентами фильтрации значительно превышающими проектные ($k = 1,0-3,0$ м сутки). Эксперименты проводились в три этапа:

I этап (1989 год) – проводился методический эксперимент для проверки возможности прямого измерения скоростей. Это было необходимо сделать, т. к. подобные эксперименты проводились на неболь-

ших расстояниях (до 10 м), а в нашем случае минимальное расстояние между пьезометрами составляло 57 метров. Запуск раствора поваренной соли осуществлялся сразу в четырех пьезометрах до противofильтрационной завесы, а пробы воды для титрования отбирались в 5-ти пьезометрах после завесы. Эксперимент длился 8 дней и подтвердил возможность прямого измерения скоростей фильтрации на расстояниях в десятки метров.

II этап (1990 год) – проводились измерения скоростей и направления движения грунтового потока, для чего раствор поваренной соли запускался в один пьезометр, расположенный до завесы в месте наиболее вероятного направления ускоренного движения фильтрационного потока воды. Пробы брались в одном пьезометре до завесы и в четырех пьезометрах после завесы.

Анализируя результаты эксперимента, следует отметить, что максимальная концентрация иона в пробах воды была обнаружена почти одновременно в трех пьезометрах после завесы и в одном до нее. Это свидетельствует о том, что средняя проницаемость исследуемого участка примыкания, включая завесу, приблизительно одинакова. Следовательно, в районе ПК-4 завеса не работает, т.е. ее фильтрационные характеристики не соответствуют проектным.

Участок между пьезометрами ОП-94 и ОП-50 индикатор прошел с наибольшей скоростью. В том случае, если поток движется здесь по прямолинейной траектории «окно» расположено у ПК-4.

Скорости фильтрации в районе ПК-4 колебались от 13,9 до 32,6 м.сутки, что значительно превышали проектные, следовательно гипотеза о наличии в противofильтрационной завесе в районе ПК-4 «окон» подтвердилась.

III этап (1990 год) – проводился эксперимент по определению источника питания ручьев на левом берегу в нижнем бьефе плотины. Запуск трассера осуществлялся в месте поворота дренажной воды, т.к. предполагалось участие этого потока в питании ручьев. Пробы отбирались в 13-ти наиболее активных выходах воды и подтвердили прохождение индикатора в 7-ми родниках, что определило скорость фильтрации на участке «поворот потока – выходы ручьев» 31.4 м. ч. Таким образом, гипотеза об участии дренажной воды в питании ручьев подтвердилась.

Проведенные эксперименты по прямому измерению скоростей фильтрации с помощью индикатора определили возможность исполь-

зования этого метода на больших расстояниях и подтвердили выдвигаемые гипотезы о наличии «окон» в завесе и участия потока дренажной воды в питании ручьев. Скорость движения фильтрационного потока в примыканиях и на участке «поворот потока – выходы ручьев» 0,00038 м сек и 0,0087 м сек далеки от размываемых (0,36 м сек), следовательно выноса частиц грунта не предвидится и целостность грунтового массива на данный момент времени можно считать обеспечена.

Измерения расходов фильтрации в дренаже и ручьях производится регулярно в течение пяти лет. Их анализ показал, что существует достаточно четко выраженная линейная зависимость фильтрационного расхода Q от глубины воды в верхнем бьефе H :

$$Q = Q_0 + B_1 H, \quad (1)$$

где Q – расход фильтрации, л/сек;

H – глубина воды в ВБ до водоупора, м;

Q_0 , B_1 – параметры линейного уравнения.

Однако, параметры этой зависимости Q_0 и B_1 изменялись из года в год. Физически параметр B_1 показывает тенденцию в изменении фильтрационного расхода. Очевидно, что при одних и тех же режимах работы водохранилища суммарный фильтрационный расход тем меньше, чем меньше величина параметра B_1 . Результаты расчета параметров уравнения регрессии по годам представлены в таблице 1,

Таблица 1

Изменение параметра регрессии B_1 по годам

Параметр	1986	1987	1988	1989	1990
B_1	10.9	17.6	28.0	21.7	17.5
Q_0	-1180	-1930	-3150	-2410	-1912

Величина B_1 после начала наполнения водохранилища увеличивается и достигает максимального значения в 1988 году, а затем уменьшается, что свидетельствует об уменьшении фильтрационных расхо-

дов через примыкание. Изменение величины параметра B_1 можно объяснить наличием в исследуемой области фильтрации явлений уплотнения. Чаще всего это происходит на участке входа фильтрационного потока из водохранилища в грунтовый массив.

К сожалению, пьезометрическая сеть левобережного примыкания недостаточно развита. Чтобы применить методы обработки данных натуральных наблюдений за изменением температуры в пьезометрах, необходимо определить пути фильтрации от водохранилища до мест разгрузки фильтрационного потока. Для определения линий тока можно воспользоваться данными о положении уровней в пьезометрах на какой-либо день и построив гидроизогипсы. Однако при обработке температурных наблюдений используются средние значения за несколько лет наблюдений, поэтому необходимо выделить линии тока, которые являются средними за весь период наблюдений. Построение по гидроизогипсам линий тока вручную на каждую неделю и затем выделение средних крайне трудоемкая задача. Поэтому к решению этой задачи применялись теоретические разработки, основывающиеся на решении уравнения Н. К. Гиринского для горизонтально-слоистых грунтов.

На рисунке 1 представлена модель горизонтально-слоистого грунта, принятая для расчетов. Модель условно разбита на два участка:

I – движение воды происходит в двух слоях, причем в нижнем фильтрация идет в напорном режиме.

II – движение воды происходит в нижнем слое, толщиной t .

Потенциал Н. К. Гиринского для напорной и безнапорной зон определяется зависимостями:

$$\varphi = \int_0^m (z - h)k(z)dz \quad \text{и} \quad \varphi = \int_0^h (z - h)k(z)dz, \quad (2)$$

где m – мощность слоя, м;

h – уровни фильтрующей воды, м;

$k(z)$ – коэффициент фильтрации, зависящий только от вертикальной координаты z . Величина удельного расхода определяется по формуле:

$$q = d\varphi/dx. \quad (3)$$

Рассмотрим три пьезометра, расположенных на линии тока. Удельный расход на участках между пьезометрами должен быть одинаков.

Поэтому, выполнив интегрирование формул (2) и (3) получим следующую зависимость между коэффициентами фильтрации на первом и втором участках,

$$\frac{k_1}{K^1} = \frac{L_1 - l_1}{L_2 - l_2} \frac{m_1^2 - H_3^2}{m^2 - H_2^2}. \quad (4)$$

Отношение коэффициентов фильтрации в формуле (4) должно сохраняться в течение времени при отсутствии химической или механической суффозии. Однако возможно отклонение от этого значения из-за временного изменения линии тока при колебаниях уровня в водохранилище. Определив значения функции $K_1/K_1^1 = f(t)$ и применив к ней регрессионный анализ с использованием метода наименьших квадратов получим коэффициенты линейного уравнения. При расположении пьезометров на линии тока тангенс угла наклона V_1 стремится к нулю. Это обстоятельство использовалось при построении линий тока средних за весь период наблюдений (рис. 2), на которых нанесены коэффициенты V_1 . При анализе рисунка 2 можно выделить зону между пьезометрами ОП-23, ОП-38, ОП-40, ОП-48 которую вода стремится обойти, а следовательно эта зона имеет меньшие коэффициенты фильтрации. Это подтверждает гипотезу о наличии в примыкании дефектов в завесе.

Основная часть фильтрующего потока транспортируется в мощном слое песчаных отложений примыкания. Поэтому главной целью пьезометрических наблюдений является оценка фильтрационного состояния именно этого водоносного горизонта. Анализируя данные наблюдений, строились карты с линиями равных напоров. В результате по ним можно оценить фильтрационную однородность исследуемой области фильтрации, а также характер движения потока.

Для того, чтобы проследить за изменением фильтрационного состояния примыкания во время эксплуатации, карты гидроизопъез строили по годам наблюдений для однотипного режима работы водохранилища (подъем, спад, стояние уровня). В качестве иллюстрации этих построений представлен рисунок 3.

Основной вывод, который можно сделать по результатам этих построений – это наличие фильтрационной неоднородности в исследуемом водоносном горизонте. К признакам такой неоднородности следует отнести искажение линий равных напоров и изменение расстояния между ними. Каждая построенная карта гидроизопъез имела характерное искажение изолиний в виде клина, который распространя-

ется от водохранилища через пьезометр ОП-27 в направлении пьезометра ОП-52, пересекает завесу между ПК-3 и ПК-4 и затем формируется в низовой части примыкания в направлении пьезометров ОП-40 и ОП-43. Объяснить такую особенность расположения гидроизопьез можно только наличием сосредоточенного пути фильтрации.

В верховой части примыкания кроме указанного клина есть еще две характерные зоны. Первая зона обозначена близко расположенными линиями равных напоров, которые распределены вдоль оси плотины и свидетельствуют о небольшой проницаемости исследуемого горизонта в направлении к завесе. Вторая зона характерна разрежением линий равных напоров, которые распределены вдоль уреза воды в водохранилище и свидетельствуют о большой проницаемости. Здесь поток движется из водохранилища в обход завесы.

В районе завесы гидроизопьезы расположены почти параллельно оси плотины и близко друг к другу. Падение напора здесь 1.0–2.0 метра. На участке завесы между ПК-3 и ПК-4 изолинии в большей или меньшей степени искажены, что свидетельствует об искажении фильтрационного потока в этом месте.

О фильтрационной неоднородности низовой части примыкания также свидетельствует неравномерное расположение линий равных напоров. Участок с большей проницаемостью ограничен линией, соединяющей пьезометры ОП-2 – ОП-97 – ОП-48 – ОП-40. Здесь изолинии сильно разрежены и очевидно, что именно в этом месте проходит основная часть притока к дренажу. Значительно меньшую проницаемость имеет часть примыкания, расположенная ниже указанной линии.

Эти выводы подтверждаются непосредственными измерениями распределения притока к обеим веткам дренажа. Основная часть расхода в дренаже проходит в ветке, параллельной оси плотины.

Подводя итог анализу обработки пьезометрических наблюдений необходимо сказать, что в фильтрационном состоянии исследуемого горизонта за время наблюдений не произошло принципиальных изменений. Завеса в основном создает определенное препятствие фильтрационному потоку, за исключением участка между пикетами ПК-3 и ПК-4, на котором ее свойства отличаются от требуемых. В целом пьезометрические наблюдения позволили качественно оценить фильтрационное состояние водоносного горизонта по всему примыканию.

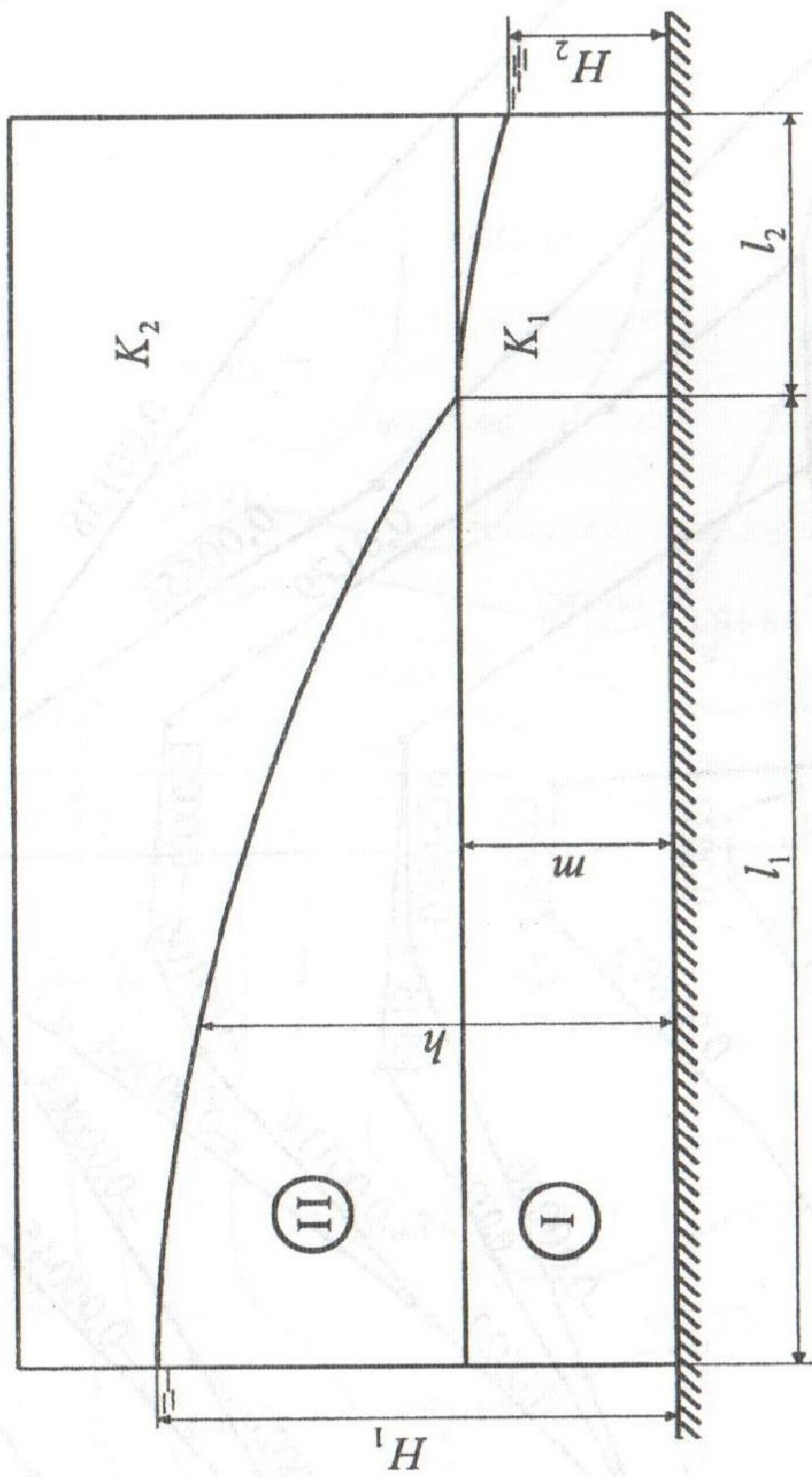


Рис.1. Модель горизонтально-слоистого грунта

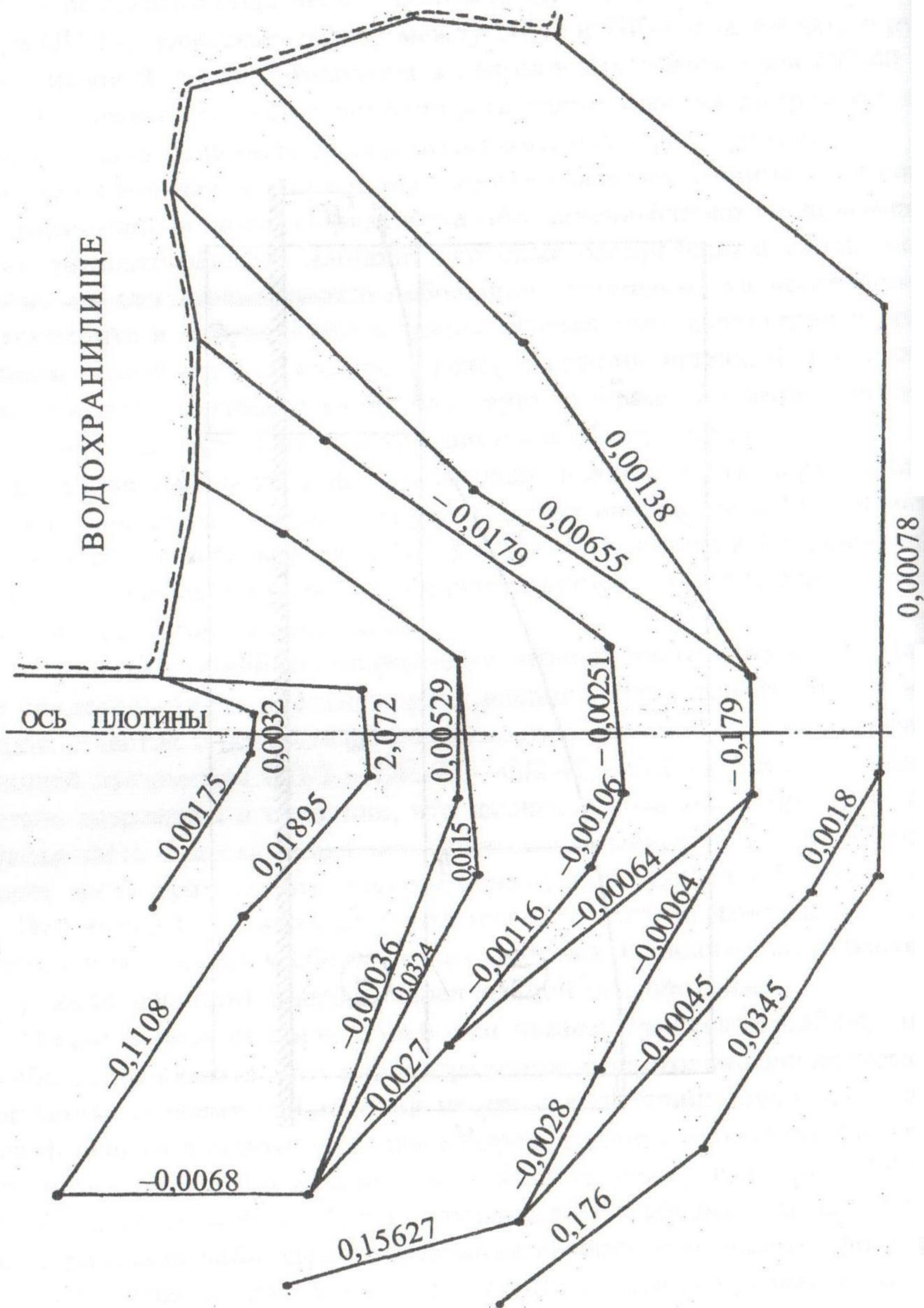


Рис.2. Линии тока за трехлетний период наблюдений

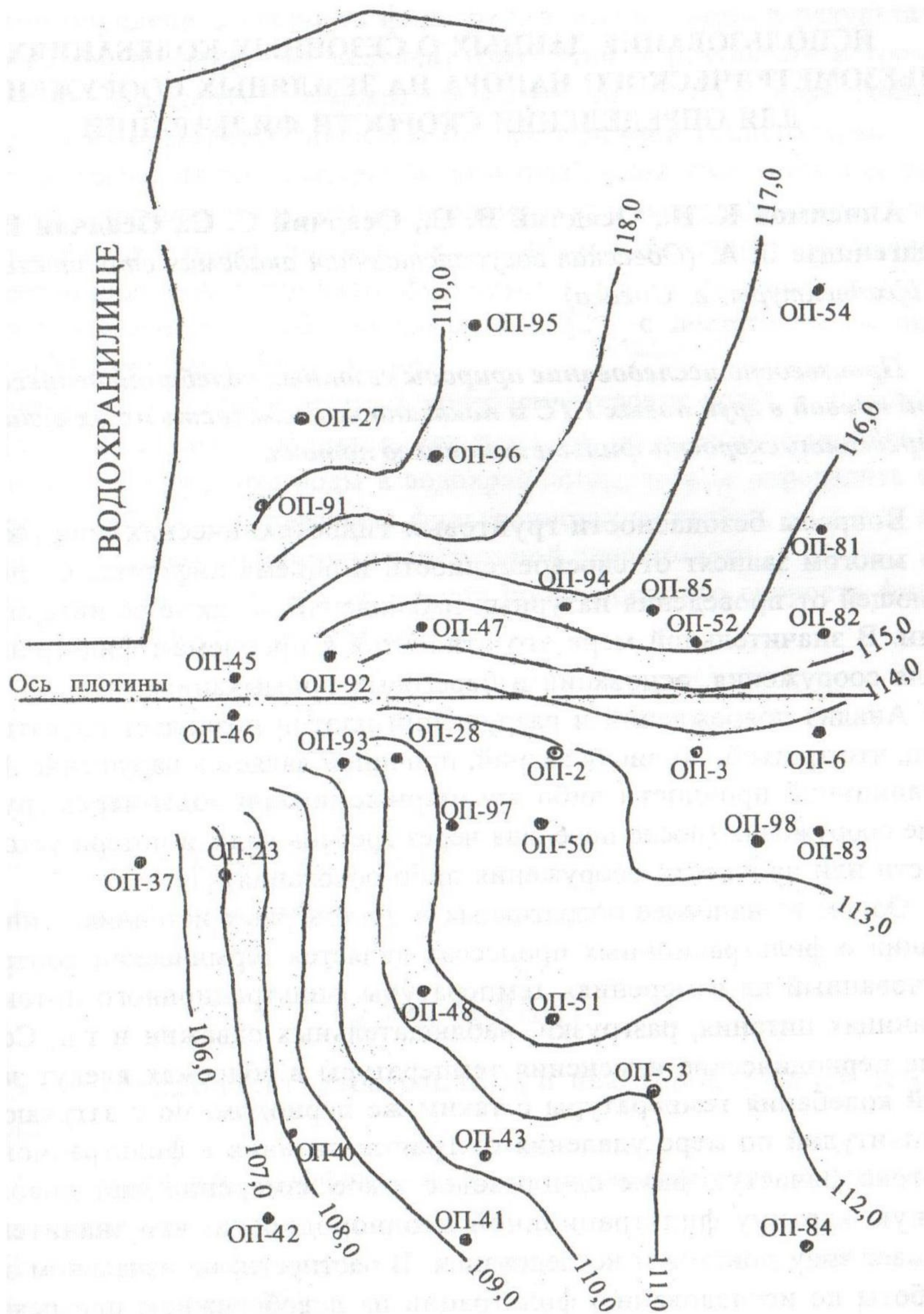


Рис.3. Линии равного напора левобережного примыкания