

Г. Г. ОГАНЕЗОВ
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ
АРАРАТСКОЙ КОТЛОВИНЫ

II



Գ. Գ. ՕԳԱՆԵԶՈՎ,

ԱՐԱՐԱՏՅԱՆ ԳՈԳԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ
ՍՏՈՐԵԿՐՅԱ ԶՐԵՐԸ

ՀԱՏՈՐ II

Այդրլնի հիդրոլոգիական և
հիդրոգեոլոգիական հետազոտությունները
և հաշվարկները

Г. Г. ОГАНЕЗОВ

551.49 (Suppl.)

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АРАРАТСКОЙ КОТЛОВИНЫ

ТОМ II

Гидрологические и гидрогеологические
исследования и расчеты по озеру
Айгерлич

АРМЯНСКОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЕРЕВАН — 1958



13987 12039

АННОТАЦИЯ

Настоящая книга представляет собой один из основных разделов изучения подземных вод Араратской котловины.

В книге приводятся некоторые новые приемы определения количественных характеристик отдельных элементов режима озера Айгерлич и анализ физико-географического комплекса, от которого зависят параметры озера.

Книга рассчитана на гидрологов, инженеров и студентов, занимающихся проектированием и исследованиями, связанными с каптажом подземных вод.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Генеральная ирригационно-энергетическая схема, составленная для Араратской котловины Водно-энергетическим институтом Академии наук Арм. ССР, выявила необходимость использования стока рек Араратской котловины главным образом в предгорной зоне, не допуская воду в большом количестве в низину, богатую местными водами.

В связи с этим возникла необходимость шире использовать местные грунтовые воды низины.

Институт геологических наук Арм. ССР принял на себя изучение этого вопроса по развернутой программе, охватывающей как исследования вод самой низины, так и всего массива г. Арагац, являющегося источником питания подземных вод, спускающихся в низину.

Местами выхода на дневную поверхность значительной части этого потока являются исток реки Севджур и озеро Айгерлич.

Институт геологических наук поставил себе задачей изучить режим озера Айгерлич в системе истоков р. Севджур.

Изучение режима озера и затем р. Севджур и других источников, выполненное с учетом геологии, гидрогеологии, гидрологии и метеорологии массива Арагац, дает возможность осветить ряд насущных вопросов водоснабжения и орошения ныне бедных водой или вовсе безводных районов, в которых по климатическим и почвенным условиям возможно весьма интенсивное развитие хлопководства и плодоводства.

При изучении подземных вод были использованы все имевшиеся в нашем распоряжении материалы по метеороло-

гии и геологии массива Арагац, — труды Академии наук СССР, работы Геологического управления Арм. ССР, работы К. Н. Паффенгольца, данные Министерства водного хозяйства Арм. ССР и Управления гидрометслужбы Арм. ССР.

На основе проведенного изучения и по выполнении некоторых изыскательских и полевых исследовательских работ будут определены пути практического использования значительных запасов подземных вод, ныне слабо используемых, и в некотором отношении причиняющих вред человеку, заболачивая значительные пространства низины.

Изучение озера Айгерлич, начатое в 1929 г., продолжалось до 1935 г. С 1936 г. наблюдения были сокращены, а с 1937—38 гг. совершенно прекратились. Материалы 1931—35 гг., имеющие уже значительную давность, разбросаны по архивам, не систематизированы, частью затеряны, хранение их не было обеспечено в полной мере. Потребовалось немало труда и времени для их розыска.

В связи с этим мы сочли необходимым дать отдельным приложением (рукопись) обработанные таблицы и копии нужных материалов, найденных нами в архивах, обеспечивая этим их сохранность, тем более, что полевое изучение озера, требующее многолетних наблюдений, вряд ли будет возобновлено.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО
ОЗЕРУ АЙГЕРЛИЧ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ОЗЕРУ АЙГЕРЛИЧ

Озеро расположено в Эчмиадзинском районе Арм. ССР.

Расположено оно в районе истоков р. Севджур, в которую через проток длиною в 700 м впадают воды озера.

Северный берег высокий, южный — низкий, болотистый вплоть до р. Севджур.

Площадь водосборного бассейна можно принять условно равной 230,9 кв. км.

Раньше, в естественных условиях, из озера вытекала речка с расходом в 0,6—0,7 м³/с. Часть этой воды использовалась мельницей, сооруженной на р. Севджур.

В настоящее время на самом озере стоит электронасосная станция мощностью 1400 л. с., приводящая в действие пять насосных агрегатов, подающих в оросительные каналы воду в количестве около 3 м³/с.

Насосная станция начата постройкой в 1925—26 гг., и пущена в эксплуатацию в 1928 г.

При постройке насосной станции от озера до р. Севджур был прорыт канал, при этом уровень воды в озере был понижен на один метр, что повлекло за собой увеличение расхода озера до 2 м³/сек.

Озеро имеет площадь зеркала 61.000 м² при горизонте озера—1,89 м. по озерной рейке (отм. нуля рейки 842,475 м).



Проток из озера.

Озеро представляет в плане почти правильный круг диаметром около 300 м. (рис. 66).

Максимальная глубина озера по съемке, произведенной в 1939 году, равна 9,4 м. Объем воды в озере при горизонте 1,89 м. равен 254,85 тыс. м³.

Площади и объемы по изобатам (рис. 67) сведены в таблицу 1.

Таблица 1

По рейке м.	Глубина м.	Площадь в тыс. кв. м.	Средняя площадь в тыс. кв. м.	Частные объемы	Емкость в тыс. кв. м.
1,89	0	61,16			
1,39	0,5	58,04	59,60	29,80	254,85
0,89	1,0	55,12	56,58	28,29	225,05
0,39	1,5	51,92	53,52	26,76	196,76
—	2,0	48,60	50,26	25,13	170,00
—	2,5	44,08	46,34	23,17	144,87
—	5,0	24,48	34,28	85,70	121,70
—	7,5	4,32	14,40	36,00	36,00
					0,00

В пределах колебания уровня озера среднюю площадь можно принять в размере 56.000 м².

Дно озера покрыто илом.

Озеро питается преимущественно прибрежными родниками, среди них два мощных родника (т. н. родники Консервтреста).

Кроме этих сосредоточенных выходов родниковых вод, имеется группа родников, выходящих близ уреза воды между насосной станцией и родниками Консервтреста; общий дебит этих родников 10—15 л/с.

Первые материалы по изучению озера относятся к 1931 году, моменту открытия Армводхозом на протоке и на озере гидрометрических постов. Таким образом, изучение озера началось только через 5—6 лет после начала строительства насосной станции.

Изучение температурного режима озера Айгерлич было начато в 1934 году Армводхозом.

Имеются данные суточных наблюдений за температурой родников Айгерлича, а также родников, окружающих озеро, в районе истоков р. Севджур. Наблюдения за температурой производились Министерством водного хозяйства Арм. ССР до 1935 г. Институт геологических наук имеет свои наблюдения, проведенные в 1940 году.

Периоды наблюдений за температурой воды в озере приводятся в таблице 2.

Таблица 2

Год	Месяцы
1934	1/II—28/II
"	26/III—30/IX
"	21/X—31/XII
1935	1/I—31/I
"	1/III—25/III
"	1/IV—30/IV
"	7/XII—31/XII
1940	18/V—19/VI
"	1/VII—31/XII

По этим наблюдениям все Севджурские и Айгерличские родники имеют почти постоянную температуру, колеблющуюся в годовом разрезе в пределах от 13° до 14°.

Химические анализы вод родников Айгерлича и вод в истоках р. Севджур в данной работе не приводятся. Характеристика их дана при рассмотрении химизма всех родников Арагацкого массива в III томе.

2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ГЕОЛОГИИ И ГИДРОГЕОЛОГИИ ТЕРРИТОРИИ, ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К ОЗЕРУ АЙГЕРЛИЧ

В настоящей главе приводятся весьма краткие сведения о геологии и гидрогеологии территории, прилегающей к озеру.

Озеро Айгерлич расположено у подножья южного склона г. Арагац, который в своей окраинной части представляет равнину, сложенную по преимуществу из андезито-базальтов и туфов, на которых имеется значительное число шлаковых конусов (кызылов).

Среди последних можно выделить северную группу, состоящую из двух конусов: северо-западного (1235 м.) и северо-восточного (1290 м.), находящихся недалеко от края андезито-базальтового потока, излившегося, по-видимому, из центра, расположенного на севере, в районе с. Шамиран. Концевая часть этого потока образует гряду высотой 10—15 м. крупно-глыбовой, темной, ноздреватой лавы. К северу от этой гряды по направлению к кызылам расположено ровное плато.

Последнее сложено туфовыми лавами, частично перекрывшими древние шлаковые конусы, частично только обтекавшими их.

Первое явление наблюдается в районе северо-западного конуса, где перекрывшая лава образовала вал высотой до одного метра, сложенный красным туфом, под которым залегает неоднородный черный туф.

У северо-восточного кызыла подобного образования из натекавшей лавы не наблюдается; здесь мы имеем обычный

контакт между туфовой лавой и красной от самого шлакового конуса.

У подножия северо-западного кизыла имеются выходы темной лавы, обладающей глыбовой отдельностью и доходящей до отметки 1135 м. Лаву эту можно отнести к андезитобазальтам. Выше по склону конуса начинаются покровные образования красной, крайне пузыристой лавы, имеющей брекчиевидное строение. Подобные шлаковые образования с разбросанными по ним довольно крупными вулканическими бомбами поднимаются до самой вершины.

На юго-восточном склоне кизыла на низких отметках залегает темно-серая лава с мелкоглыбовой отдельностью.

На расстоянии 4 км к югу от описанных шлаковых конусов находится южная группа кизылов, имеющая аналогичное геологическое строение. Эта группа состоит из расположенных на расстоянии километра одна от другой двух главных возвышенностей: юго-восточного кизыла, с довольно сложным строением, и юго-западного, представляющего куполовидную возвышенность, которая окружена высоким воротником из андезитобазальтовых лав.

Между северной и южной группами кизылов, несколько на восток, расположен самостоятельный очаг вулканической деятельности, состоящий из шлакового конуса и андезитобазальтовых покровов.

Вся юго-восточная часть рассматриваемого плато на протяжении 15 км от с. Франганоц до озера Айгерлич сложена андезитобазальтами, образующими многочисленные заливы и выступы.

От оз. Айгерлич на юго-восток протягивается уступ, сложенный покровом андезитобазальтов. Это один из конечных потоков основной лавы на южном склоне г. Арагац. Далее на юг растянулась ровная долина, сложенная аллювием.

Характерным пунктом является расположенная на расстоянии 2,5 км от Айгерлича возвышенность Зейва, представляющая из себя невысокий шлаковый конус.

Лавовые потоки Арагаца, излившиеся в сторону долины, образовали на значительной ее части сплошной покров; в на-

стоящее время последний перекрыт мощным слоем аллювия, доходящим у р. Аракс до 100 м.

В восточной части долины у р. Аракс базальтов не обнаружено.

Ко времени вулканической деятельности г. Арагац относится и образование у ее подножья в пределах Араратской долины проточного озера. Первый сплошной слой озерного ила обнаружен под современным аллювием на глубине от 20 до 60 м. Мощность озерного ила доходит до 30 м. До глубины в 300 м. обнаружены еще несколько слоев озерного ила.

Поверх первого слоя озерного ила лежит слой желто-коричневых глин, представляющих отложения угасавшего озера. Они относятся к тому периоду, когда вследствие частичного пропала порога озера или в связи с тектоническими движениями озеро стало более мелким.

Резкость перехода нижних темно-синих глин в желто-коричневые дает основание предполагать, что озеро, имевшее первоначально глубины до 100 и более метров, сравнительно резко превратилось в мелкое, в связи с чем изменился и характер отложений.

Под озерным илом имеются напорные самоизливающиеся артезианские воды.

Изучение распределения пьезометрических напоров показало, что последние падают от рамы гор в сторону р. Аракс, в направлении, параллельном течению р. Севджур.

В том же направлении имеется и движение грунтовых вод в пределах современного аллювия, выше озерных глин.

Во всех случаях, когда бурение показывало наличие озерных глин и базальтов, последние неизменно оказывались под озерными отложениями.

Горизонт бывшего озера по целому ряду соображений, приведенных в нашей работе «Артезианские воды Карасу—Зангибасара», доходил до отметок современных истоков р. Севджур и озера Айгерлич (844 м.).

У места сопряжения лавовых отрогов г. Арагац с отложениями долины имеются выходы крупных родников. К числу этих родников относятся родники, питающие р. Севджур и оз. Айгерлич общим дебитом 15—16 м³/с., родники Сары-

су в $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$, Учкерпи — $0,6 \text{ м}^3/\text{с}$, Зейва — $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и много других более мелких.

Озерные отложения долины кончаются на отметке, близкой к отметке истоков р. Севджур. Здесь происходит разделение потоков грунтовых вод, идущих от массива Арагац. Часть их направляется под озерный ил, чему способствуют на восточной и западной оконечностях долины базальтовые покровы, уходящие в подозерные горизонты, частью же грунтовые воды идут поверх озерного ила в толще современного аллювия.

Так как трещиноватые базальты и андезитобазальты обладают весьма высокой водопроводящей способностью, то атмосферные осадки, обильно инфильтрующиеся на территории массива Арагац, свободно подходят по контактам и по трещинам пород к Араратской долине. Не находя тут пород с той же высокой водопроводящей способностью, подземные воды частично изливаются в виде крупных родников Севджура и оз. Айгерлич и одновременно совершают дальнейший путь по древнему и современному аллювиям, выделив для этого то количество воды, которое способны принять аллювиальные толщи долины.

Геологическая карта массива г. Арагац дается в приложении (рис. 79).

РЕЖИМ ОЗЕРА АЙГЕРЛИЧ

1. ИЗУЧЕННОСТЬ ОЗЕРА АЙГЕРЛИЧ

Изучение озера Айгерлич было начато в 1929 г., когда впервые экспедицией Академии наук СССР был установлен водомерный пост на протоке.

Каких-либо материалов по этому посту от экспедиции Академии наук по гидрометрии Айгерлича в нашем распоряжении не имеется, все они остались неопубликованными и затеряны.

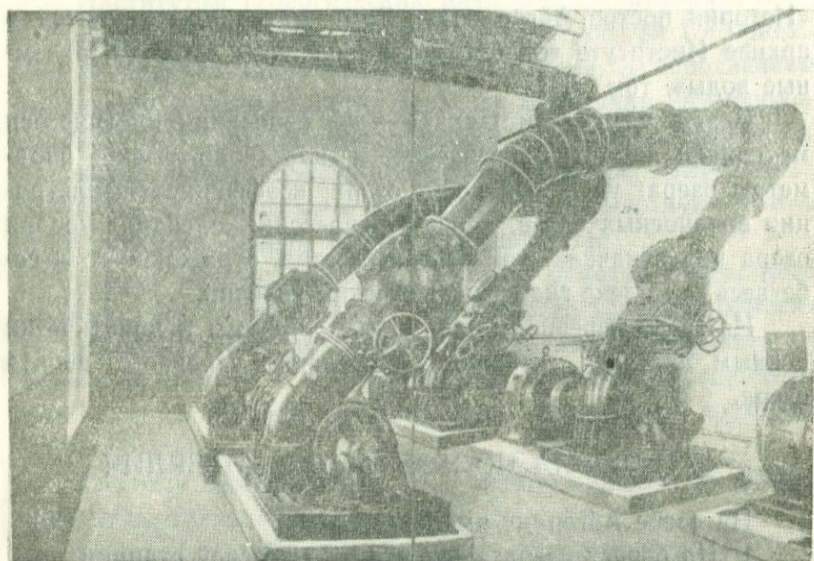
Первые регулярные наблюдения за горизонтами озера относятся к 1931 г. С этого года наблюдения за горизонтами по протоку и замеры расходов производились Управлением водного хозяйства Арм. ССР. Кроме этого, имеются, начиная с 1927 г., единичные замеры расходов по протоку (см. Историю постов).

Но одно лишь определение расходов по протоку не могло дать достаточного материала для изучения озера. Основным фактором, способствовавшим глубокому изучению озера, явились данные эксплуатации электронасосной станции на озере.

Откачка воды из озера на орошение в размере около 3-х м³/с, изучение колебаний уровня озера во время откачек путем наблюдений за горизонтами озера с помощью рейки и лимниграфа, полные данные о продолжительности работы каждого из насосов за все время работы насосной станции, специальное изучение характеристических кри-

вых насосов — являются основными материалами, накопленными под руководством автора в течение почти 7 лет Управлением водного хозяйства Арм. ССР.

Может показаться странным, почему изучение озера Айгерлич начинается после пуска в эксплуатацию насосной станции, когда само проектирование насосной станции требовало наличия достаточного материала наблюдений.



Насосная станция Айгерлич, внутренний вид.

Отсутствие изыскательского материала заставило проектировщиков для обеспечения работы насосной станции запроектировать питательный канал из реки Севджур в озеро Айгерлич, который мог бы подать воду к насосам в случае, если отдача озера оказалась бы недостаточной. Однако эксплуатация показала достаточное водообилие озера.

Исследовательский материал по озеру, накопленный Управлением водного хозяйства, долгое время оставался без обработки. Лишь в 1940 году Институт геологических наук АН Арм. ССР приступил к изучению режима озера Айгерлич в связи с общим изучением подземных вод Араратской

котловины; лишь с этого года исследовательский материал, частично уже затерянный, выносятся из архивов и систематизируется.

Автору настоящего исследования пришлось изучить архивы не только Министерства водного хозяйства Арм. ССР, но и Эчмиадзинского райводхоза, а также заведующего насосной станцией на озере.

Перечень материалов наблюдений приведен в главе «История постов Айгерлича». Сами материалы хранятся в архиве Института геологических наук Арм. ССР («Подземные воды», том VII).

Перед нами стоит задача — на основании имеющегося материала дать гидрологические и гидрогеологические параметры озера: удельный дебит озера, коэффициент фильтрации водоносных слоев, кривую депрессии, колебания уровня озера при откачках, как обстоятельства, отражающего в себе весь комплекс гидрогеологических условий.

Из всего перечисленного самым важным и практически ценным является, конечно, определение удельного дебита озера.

2. ИСТОРИЯ ПОСТОВ НА ОЗ. АЙГЕРЛИЧ

На озере Айгерлич имелись посты:

1. На берегу озера, близ здания насосной станции.
2. У лимниграфа, на берегу озера, также близ насосной станции.
3. На протоке из озера.

а) ПОСТ НА ОЗЕРЕ АЙГЕРЛИЧ

Пост на озере Айгерлич был открыт Армводхозом (гидрометр М. Михайлов) 27/VI—1930 г. В шести метрах от насосного здания, на расстоянии двух метров от берега, была установлена металлическая двухметровая рейка.

Рейка была прикреплена к железному рельсу и имела условную отметку нуля 7,087 м. Репером служила плита насоса № 4 с условной отметкой 10,0 м. (см. Книгу гидрометрии № 25 за 1932 г. История поста от 5/VIII—1931 г.).

Регулярные наблюдения над горизонтом озера были начаты с 1-го февраля 1931 г.

Основным репером для насосной станции и для озера Айгерлич является верх угловой плиты насоса № 1. В делах Армводхоза абсолютная отметка этого репера принята в 861,795 м., но уже давно было известно, что эта отметка неправильна.

Институтом геологических наук 6—11 сентября 1941 г. определена абсолютная отметка плиты насоса № 1 с привязкой к отметке железнодорожного репера, установленного на здании рабочей казармы разъезда Советакан (Камышлю) (848,563 м.). Отметка плиты насоса № 1, определенная на основании данных трех нивелировочных ходов, получилась в 845,715 м. Эту отметку и принимаем за абсолютную отметку Айгерличского репера (плиты насоса № 1).

Таким образом, указанную выше отметку плиты насоса № 1 в 861,795 м. принимаем в качестве условной отметки. В дальнейшем все же считаем необходимым приводить эту условную отметку, т. к. в документах Армводхоза, где сосредоточены все данные по Айгерличу, фигурирует постоянно эта отметка.

Отметку плиты насоса № 4 можно принять по нивелировке гидрометра Чикнаверова Т. Г.

Нивелировка была произведена Чикнаверовым Т. Г. во время испытаний комиссией Айгерличских насосов 18—21 апреля 1930 г. (см. Дело испытания насосов Айгерлича, архив МВХ № 7/174). Нивелировка Чикнаверова Т. Г. дала следующие отметки плит насосов:

№ 1 — 861.795 м.

№ 2 — 861.783 м.

№ 3 — 861.779 м.

№ 4 — 861.659 м.

№ 5 — 861.651 м.

Основываясь на данных Чикнаверова, отметку нуля озерной рейки нужно считать:

$$861,659 - (10,0 - 7,087) = 858,746 \text{ м.}$$

Необходимо указать, что в «Книге гидрометрии» № 3 за 1932 г. приводится история поста, где указано, что условная отметка нуля рейки принята от насоса № 2, а не от насоса № 4.

При этом отметка нуля рейки была бы:

$$861,783 - (10,0 - 7,087) = 858,870 \text{ м.}$$

Помимо указанных выше документов, имеется специальное донесение инженера Эчмиадзинского райводхоза Баятяна С. А. от 20/II—1932 г. за № 142, основанное на данных гидрометра Складорова, где последний в результате произведенной нивелировки, не приведя исчислений, дает отметку нуля рейки в 858,707 м. (Кн. гидрометрии № 3).

Ту же отметку нуля рейки без даты, но с резолюцией от 25/VII—1934 г. находим в «Книге гидрометрии» № 17 за 1934 г. (При взгляде на репер 1307 м. на головку рейки — 2,395 м.). Эта отметка — 858,707 фигурирует и в Книге № 16 за 1934 г.

Таким образом нуль озерной рейки имеет у разных авторов следующие отметки:

I — 858,746 м.

II — 858,870 м.

III — 858,707 м.

IV — 858,707 м.

Из всех этих данных за наиболее достоверную отметку нуля рейки нужно принять отметку—858,707 м., как внушающую большее доверие. Отметку 858,870 м., привязанную к насосу № 2, надлежит исключить как сомнительную, так как этот насос расположен в глубине здания насосной станции и не могло быть причин привязаться к нему.

В «Книге гидрометрии» № 57 за 1936 г. имеются данные нивелировки озерной рейки, выполненной гидрометром Аршаком Овсепяном; он дает отметку нуля в 859,737 м., т. е. на 1 метр выше.

Эту отметку нужно признать ошибочной на 1 метр. Как можно видеть из собственноручной записи А. Овсепяна (Кн. 57 — 1936 г.), он с одной стоянки нивелировал как озерную

рейку, так и рейку у лимниграфа, установленного на озере же. Отсчеты по рейке показаны следующие:

На репер насоса — 1047
На головку озерной рейки — 1105
На головку рейки у лимниграфа — 2470

Таким образом, озерная рейка у гидрометра оказывает-ся установленной на 1,365 м. выше другой, что, очевидно, не-возможно.

Поэтому отметка, указанная Осепяном, является явно ошибочной.

Итак, отметка нуля озерной рейки должна быть принята в 858,707 м.

До 1937 г. положение рейки не менялось.

К началу 1937 г. рейка была повреждена.

Гидрометру Федченко было поручено восстановить рейку и дать новую отметку ее нуля.

28/IV—1937 г. Федченко восстановил рейку и, связав нивелировкой нуль рейки с плитой насоса № 1, получил отметку нуля рейки — 858,611 м.

В течение 1937 г. эта рейка неоднократно связывалась нивелировкой с плитой насоса № 1, имеющей условную отметку 861,795 м.

Имеются следующие данные:

Таблица 3

Дата	Отметка нуля рейки	Средняя отметка
28/IV—37 г.	858,611	
10/VII—37 г.	858,648	
17/VIII—37 г.	858,650	
31/X—37 г.	858,621	
20/I—38 г.	858,637	858,636

По сообщению гидрометра М. Михайлова имеется нивелировка нуля рейки на озере от 12/X—1939 г., причем получена отметка 858,551 м.

По нивелировке, произведенной Геологическим институтом через изыскателя К. Липириди 9—11 сентября 1941 г.,

отметка нуля рейки, считая за репер плиту насоса № 1 с условной отметкой 861,795 м., получилась равной 858,557 м.

Резюмируя приведенные данные, считаем, что отметки репера и нуля озерной рейки должны быть приняты следующие:

Таблица 4

Наименования	Условные отметки м.	Абсолютные отметки м.
Репер на плите насоса № 1	861,795	845,715
Отмет. нуля оз. рейки с 1931 по 29/IV—37 г.	858,707	842,627
То же с 29/IV—37 г. по 1941 г.	858,557	842,477

Длина озерной рейки неизменно равнялась 2 метрам.

Наблюдения за горизонтами озера велись Армводхозом с 1 февраля 1931 г. по 31 августа 1935 г. и с 27 июня 1937 г. (Данные за сентябрь 1936 г. отсутствуют).

С начала 1938 г. по 16 апреля 1941 г. наблюдения за горизонтами озера не велись. Последние были возобновлены с 17 апреля 1941 г. и в ноябре того же года прекращены.

Данные за 1941 г. не внушают доверия, поэтому не приводятся. Наблюдатель Паносян оказался весьма недобросовестным.

б) ПОСТ НА ПРОТОКЕ ИЗ ОЗ. АЙГЕРЛИЧ

До начала постройки электронасосной станции Айгерлич из озера вытекало около 0,6—0,7 м³/с воды (Архив МВХ № 7/208).

При постройке насосной станции было решено искусственно опустить уровень озера путем углубления и расширения отводного русла. Был прорыт отводной канал (в 1926 году), в связи с чем горизонт воды в озере понизился и расход воды в этом канале (протоке) увеличился до 1,5—2 м³/с.

До прорытия отводного канала, по данным геолога В. Ф. Захарова от 11/VI—26 г., уровень озера имел отметку 404,03 саж.= 862,04 м., после прорытия — 403,46 саж. или

860,822 м. (Отчет прораба Ширмазана Г. В. от 5/IX—28 г. Архив МВХ 7/408).

Гидрометрический пост на отводном канале, по данным гидрометра М. Михайлова, был открыт сотрудником экспедиции Академии наук СССР С. И. Капланом (время не указывается, предположительно, в 1929 г. См. отчет Б. Д. Зайкова, арх. МВХ № 5/23).

Пост представлял из себя сваю, к которой была прибита 1,5-метровая деревянная рейка.

Близ рейки был установлен репер (ниже створа). Репером служил железный рельс, вбитый в землю с левой по течению стороны.

Впоследствии, в связи с очисткой канала, рейка осталась на сухом месте.

Новый пост был открыт гидрометром Эчмиадзинского райводхоза Скляровым в январе 1931 г.

Двухметровая металлическая рейка была прикреплена к пешеходному мостику, переброшенному через проток, по которому проходила дорожка, ведущая от насосной станции к баракам.

Пост функционирует с 1 февраля 1931 г.

За репер был принят тот же рельс.

При условной отметке репера 10,0 м. нуль рейки имел отметку 7,710 м.

Старая рейка, установленная С. И. Капланом, по одно-временной нивелировке с новой рейкой, имела условную отметку нуля — 8,651 м. («Книга гидрометрии» № 25 за 1932 г.).

Привязки к плите насоса № 1 были произведены в 1937, 1938 гг. и представлены в таблице 5.

Таблица 5

Дата	Стм. репера у протока	Средняя отметка
10/VII—37 г.	861,452	
17/VIII—37 г.	861,443	
31/X—37 г.	861,410	
20/I—38 г.	861,337	861,410

Принимая среднюю отметку репера равной 861,410 м., получим отметку нуля рейки на протоке $861,410 - (10,0 - 7,710) = 859,120$ м.

Инженер Эчмиадзинского райводхоза Баятян С. А. в цитированном ранее донесении от 20/II—32 г. дает отметку нуля рейки — 859,153 м.

Такова была отметка нуля рейки на протоке с 1931 г. по 1933 г.

До 1937 г., надо полагать, в положении рейки не было никаких изменений. В Архиве МВХ не было найдено данных, говорящих о том, что рейка была смещена. Лишь в «Книге гидрометрии» № 17 за 1934 г. приведена нивелировка нуля рейки (фамилия нивелировщика неизвестна), где отметка нуля рейки показана иная, именно 859,515 м. (Взгляд на репер — 1193, на головку рейки — 1473), при этом резолюция М. Михайлова «К подсчету 25/VII—1934 г.»

Делать из этого вывод, что рейка была смещена, полагаем, нет основания.

Горизонты на протоке записывались три раза в сутки, и в записях нигде нельзя найти скачка в 36 см. (859,515—859,153), при этом не только горизонты на протоке не дают картины скачка, но и разность отметок озера и протока сохраняется для установившихся горизонтов одна и та же.

Также не показывает никаких изменений выполненный нами график зависимостей между горизонтами озера и протока.

Помимо этих соображений, в архиве МВХ имеется документ, говорящий не в пользу предположения о смещении рейки — это кривая $Q = f(H)$ для протока, датированная 11 мая 1935 г., которая совпадает с кривой, принятой нами для периода 1931—33 г.; на таблице этой кривой имеется надпись составителя ее, инструктора В. И. Шлихгера, «Таблица, по которой пользовались за 1934 г.»

Очевидно, делать такую запись в 1935 г. нельзя было, если бы действительно рейка была смещена в 1934 г. Поэтому считаем, что изменение отметки нуля рейки в рассматриваемом случае является фактом неточной нивелировки и вовсе не говорит о смещении самой рейки.

Хотя рейка и не была смещена, но все же замеры расходов говорят за то, что с 1935 г. кривая $Q = f(H)$ получила несколько другой вид, что мы и учитываем для 1935—36 годов.

16 января 1937 г. рейка на протоке была сорвана и 27 апреля 1937 г. восстановлена гидрометром Эчмиадзинского райводхоза Скляровым (См. «Книгу гидрометрии» № 3/28 за 1934—37 гг.)

В 1937 г. нуль новой рейки неоднократно привязывался к основному реперу, к плите насоса № 1 (а не к местному реперу, рельсу), при этом получены следующие данные:

Таблица 6

Дата	Отм. нуля рейки на протоке	Средняя отметка
10/VII—37 г.	859,028	859,017
17/VIII—37 г.	859,032	
31/X—37 г.	858,978	
20/I—38 г.	859,030	

С 1937 г. по 1942 г. и позже положение рейки не менялось.

По нивелировке Института геологических наук Академии наук Арм. ССР, произведенной изыскателем К. Липириди 9—11 сентября 1941 г., отметка нуля рейки на протоке равна 859,021 м. Необходимо отметить, что хотя по имеющимся данным рейка на протоке 16 января 1937 г. была сорвана и восстановлена лишь 27/IV—37 г., все же за этот промежуток времени наблюдения за горизонтами продолжались.

Надо полагать, что рейка не была в полной мере сорвана и наблюдатель приспособил ее для дальнейших наблюдений.

На основании данных, приведенных выше, отметки репера и нуля рейки на протоке представляются в следующем виде:

Таблица 7

Наименования	Условная отметка м.	Абсолютная отметка м.
Репер, плита насоса № 1	861,795	845,715
Нуль рейки на протоке с 1931 по 1936 гг.	859,153	843,073
То же за 1937—41 гг.	859,021	842,941

Наблюдения за горизонтами на протоке производились с 1 февраля 1931 г. и продолжались до конца 1937 г. с теми же перерывами, которые были указаны для горизонтов озера.

С 17 апреля 1941 г. наблюдения за горизонтами на протоке были возобновлены, но 1 ноября 1941 г. они вновь прекратились. Имеются более или менее регулярные замеры расходов в протоке из озера лишь с I/II—1931 г. До этого времени производились единичные замеры без указания на горизонт по рейке, которая, видимо, не была еще установлена.

Сведения эти следующие:

Таблица 8

Дата	Q м³/с	Наименование источника
14/I—27 г.	1,52	Сборник гидрометрических материалов Заводхоза за 1927 г.
3/XI—28 г.	1,88	Гидрометрич. сведения по ЗСФСР за 1929 г. и „Кн. гидрометр.“ № 1 за 1931 г.
14/XI—29 г.	1,46	Гидрометрич. сведения по ЗСФСР за 1929 г.
14/XI—29 г.	1,06	То же
15/XI—29 г.	1,47	То же
11/XII—29 г.	2,97	То же
22/III—30 г.	1,41	Из проекта Карасу-Зангибасара. Гидро- метрия Карасу, стр. 58 и Кн. гидромет- рии № 1 за 1931 г.
21/IV—30 г.	4,10	По данным акта приемки насосной стан- ции Айгерлич.
28/VI—30 г.	0,90	Книга гидромет. № 1 за 31 г.
28/VI—30 г.	0,32	Расход 0,9 м³/с—у устья.

Примечание: 14, 15 ноября 1929 г. и в марте 1930 г. откачек насосами не производилось.

Расход в $0,90 \text{ м}^3/\text{с}$, замеренный 28/VI—30 г., ошибочно показан в «Книге гидрометрии» № 1 за 1931 г. при дате 13/VII—1930 г. Согласно данным Архива Гидрометрической службы (№ 92—28-а), 13/VII—30 г. — это дата вычисления расхода, а не замера. В архиве Арм. управления гидрометслужбы за № 100—35-а имеется дневник работ, где дата замера указана 28/VI—30 г. Расход, произведенный 14/XI—1929 г. в размере $1,06 \text{ м}^3/\text{с}$, относится к сечению у озера выше моста, а в размере $1,46 \text{ м}^3/\text{с}$ относится к сечению близ устья (см. Архив Гидрометслужбы № 92—28-а).

С 1931 г. по 1933 г. включительно на протоке были произведены замеры расходов. Сведений о них в Архиве МВХ Арм. ССР нам не удалось найти.

Лишь в «Книге гидрометрии» № 51 за 1935 г. приводится готовая кривая $Q = f(H)$ для протока 1931—33 гг. и таблица к ней, датированная 11 мая 1935 г. На этой кривой $Q = f(H)$ показаны точки, соответствующие замеренным расходам.

Приводим расходы, пользуясь расположением точек на указанной кривой.

Таблица 9

Расходы на протоке за 1931—1933 гг.

Горизонты см.	Расходы $\text{м}^3/\text{с}$	Горизонты см.	Расходы $\text{м}^3/\text{с}$
40	0,03	94	0,90
50	0,08	95	1,14
60	0,14	100	1,42
68	0,25	105	1,61
70	0,30	110	2,00
75	0,39	114	2,20
80	0,53	118	2,42
88	0,90	119	2,48
89	0,98	120	2,54

На основании записей, найденных в архиве Министерства водного хозяйства, начиная с 1934 г. и частично в 1931 г.

были произведены следующие замеры расходов по протоку (таблица 10).

Таблица 10

Дата	Горизонты см.	Расходы м³/с	Примечание
11/VI—31 г.	90	0,88	Кн. № 11—1931 г.
19/VI—31 г.	67	0,25	Кн. № 11—1931 г.
14/VII—34 г.	62	0,30	Кн. № 17—1934 г.
20/XII—35 г.	132	2,32	
		2,43	
28/V—36 г.	91	0,89	
18/VI—36 г.	124	1,59	
10/I—37 г.	136	2,35	
28/IV—37 г.	155	2,06	
11/VI—37 г.	130	2,34	
10/VII—37 г.	82	0	
17/VIII—37 г.	79	0	
31/X—37 г.	129	0,96	
5/II—42 г.	147	2,58	Замер Геологического ин-та

С 1935 г. кривая $Q = f(H)$ для протока в достаточной мере отличается от кривой 1931—1933 г., поэтому считаем, что нет достаточных оснований исчислять расходы по протоку 1934 г. по кривой 1931—33 гг.

Причислять 1934 год к периоду 1935—36 гг. также было бы неправильно.

На этом основании считаем более правильным оставить 1934 г. без кривой $Q = f(H)$, а необходимые исчисления по 1934 г. и за первые месяцы 1935 г. производить по средним значениям расходов, определенных по кривым 1931—1933 гг. и 1935—36 гг.

Нельзя не отметить, что кривые 1935—36 и 1937 гг. слабо обоснованы замерами расходов. Вообще в Армводхозе внимание к Айгерличскому узлу после 1938 года все больше и больше падало.

Лимниграф был установлен на самом озере Айгерлич, в 10 м. от озерной гидрометрической рейки у обрывистого берега. Лимниграф был установлен в будке. Сама будка была сооружена на двух горизонтально установленных рейках длиной в 6 м., укрепленных консольно на берегу и выдвинувшихся в сторону озера.

Лимниграф имел свою рейку по нивелировке гидрометра Курбатова с нулем на отметке — 853,503 м. (Кн. № 4, 1933 г.), а по нивелировке гидрометра Аршака Осеяна на отметке — 853,372 (Кн. № 57, 1936 г.).

Лимниграфы работали с 13/V—1932 г. по 1/IX—1935 г.

В Архиве Министерства водного хозяйства сохранились следующие лимниграфы по озеру Айгерлич.

1932 г.	С	3/V —по 10/V	Кн. гидром. № 3. Том I, 1932 г.
	С	18/VI —по 31/XII	
1933 г.	С	1/VII—по 31/VII	Кн. № 31, 1934 г.
1934 г.	Со	2/IV —по 31/XII	Кн. № 31, 1934 г.
1935 г.	С	1/V —по 1/IX	Кн. № 51, 1935 г.

На лимниграммах проставлены горизонты не по рейке лимниграфа, а по озерной рейке.

г) ПРОЧИЕ ПОСТЫ НА ОЗЕРЕ АЙГЕРЛИЧ

Кроме указанных постов, были также посты на каналах т. н. Верхней и Нижней трассы.

Пост в голове канала Верхней трассы был открыт в марте 1930 г., а на Нижней трассе — в апреле 1930 г.

В «Книге гидрометрии» № 47, 1934 г. приведена история этих постов.

На канале Нижней трассы был установлен лимниграф на правом борту канала. Будка, где установлен был лимниграф, была соединена деревянной трубой с дном канала.

Лимниграф работал с 12 июня 1932 г. по 1935 г. В Архиве МВХ имеются соответствующие лимниграммы. (Кн. № 3, 1932 г., Кн. № 31, 1934 г. и Кн. № 51, 1935 г.). Лимниграммы за 1933 г. отсутствуют.

Кривые зависимостей $Q = f(H)$ для протока

Ниже приводятся кривые зависимостей $Q = f(H)$ для протока и соответствующие таблицы, составленные на основании этих кривых за каждый период.

Для удобства пользования составлены кривые и таблицы зависимости $Q = f(H)$, связывающие горизонты озера с расходами воды в протоке (рис. 1).

Для этой цели по каждому году составлены сначала прямые взаимной зависимости горизонтов озера и протока. Эти зависимости составлены по данным за те дни, когда горизонты устанавливались на более или менее продолжительное время. Определять взаимную связь двух горизонтов при спаде или повышении уровня озера, которые имеют место в зависимости от работы насосов, было бы неправильно, т. к. не может быть гарантии в производстве замеров горизонтов одновременно на озере и в протоке.

Таблица 11

Связь расходов протока с горизонтами воды в протоке и на озере.

Горизонт см.	Расходы в м ³ /с, вычисленные по горизонтам в протоке			Расходы в м ³ /с, вычисленные по горизонтам озера		
	1931 1933	1935 1936	1937	1931 1933	1935 1936	1937
1	2	3	4	5	6	7
50	0,063	0,100	—	—	—	—
55	0,100	0,180	—	—	—	—
60	0,155	0,260	—	—	—	—
65	0,220	0,360	—	—	—	—
70	0,300	0,460	—	—	—	—
75	0,400	0,560	—	—	—	—
80	0,525	0,660	—	—	—	—
85	0,690	0,780	0,050	0,01	—	—
90	0,900	0,900	0,100	0,03	—	—
95	1,130	1,020	0,195	0,05	0,03	—
100	1,390	1,140	0,290	0,08	0,10	—
105	1,670	1,260	0,400	0,12	0,18	—
110	1,960	1,410	0,500	0,17	0,26	—
115	2,260	1,550	0,600	0,25	0,36	—

1	2	3	4	5	6	7
120	2,560	1,730	0,720	0,34	0,46	0,00
125	2,560	1,900	0,830	0,47	0,56	0,07
130	3,170	2,110	0,980	0,63	0,66	0,16
135	3,480	2,400	1,140	0,80	0,78	0,26
140	3,800	2,700	1,320	1,05	0,90	0,35
145	4,110	3,100	1,520	1,28	1,02	0,44
150	—	—	1,760	1,55	1,14	0,55
155	—	—	2,040	1,85	1,26	0,65
160	—	—	2,360	2,16	1,41	0,81
165	—	—	—	2,45	1,55	0,96
170	—	—	—	2,75	1,73	1,12
175	—	—	—	3,05	1,90	1,28
180	—	—	—	3,40	2,11	1,44
185	—	—	—	3,70	2,35	1,63
190	—	—	—	4,0	2,56	1,85
195	—	—	—	—	2,78	2,10
200	—	—	—	—	—	2,43
205	—	—	—	—	—	2,75
Разность горизонтов озера и протока.	—	—	—	47	50	38

Таблица 12

Отметки нулей рек.

Наименование рек	Г о д ы	Относительн. отметка	Абсолютная отметка
Озерная	1931—1936	858,707	842,627
	1937—1941	858,557	842,477
На протоке	1931—1936	859,153	843,073
	1937—1941	859,031	842,941

Из сравнения расходов по протоку при одинаковых горизонтах озера за период 1931—33 и 1935—36 гг. следует, что с течением времени расходы по протоку все уменьшались и уменьшались. Учитывая, что с 1937 г. озерная рейка была снижена на 15 см, заключаем, что и в 1937 г. имело место дальнейшее уменьшение расходов по протоку (при одних и тех же горизонтах озера).

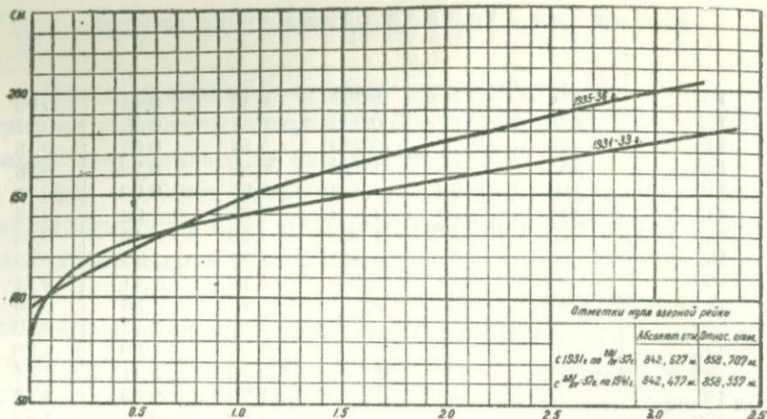


Рис. 1. Кривая зависимости расходов воды в протоке от горизонтов озера; $Q = f(H)$.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДООТДАЧИ ОЗЕРА

При изучении режима озера существенное значение имеет правильное определение водоотдачи озера.

Секундный расход воды, вытекающей из озера в течение года, колеблется в больших размерах в связи с прерывной работой насосной станции. Отвод воды из озера происходит двумя путями: через проток и через насосную станцию.

Расход через проток определяется на основании наблюдаемых горизонтов по кривой зависимости $Q = f(H)$ для протока. Расход через проток увеличивается при высоком горизонте озера и падает с понижением уровня его.

Наблюдения показали, что максимальный расход воды, поступающей из озера в проток, достигает $4 \text{ м}^3/\text{с}$. При минимальном уровне озера, который устанавливается при одновременной работе четырех насосов, расход через проток ничтожен и достигает $50\text{--}100 \text{ л/с}$, а при работе 5 насосов поступление воды в проток прекращается.

В главе «История постов оз. Айгерлич» приведены кривые $Q = f(H)$ (рис. 1). На основании этих кривых определены расходы через проток.

По нивелировке, произведенной в 1939 г. по указанию

Геологического института гидрометром Михайловым, условная отметка воды озера при горизонте 1,89 м. была равна 860,447 м. (при отметке репера на плите насоса № 1 — 861,795 м.), отметка воды в конце протока у слияния с р. Севджур — 859,194 м. Величина падения по протоку равна $860,447 - 859,194 = 1,25$ м. На расстоянии 208 м. от озера на протоке имеется перепад в 0,36 м. Длина протока до слияния с р. Севджур 700 м. Средний уклон протока без учета перепада $\frac{1,25}{700} = 0,0018$, а с учетом его $\frac{1,25 + 0,36}{700} = 0,0013$.

Очевидно, что в протоке нет подпора со стороны р. Севджур как при высоком горизонте озера, так и при низком, когда расход по протоку падает; горизонты в реке Севджур практически неизменны, т. к. р. Севджур имеет постоянное родниковое питание.

Количество воды, откачиваемое электронасосами, определяется производительностью насосов. На станции установлены пять агрегатов, из коих три питают канал нижней трассы, подавая воду на высоту около 10 метров, а два питают канал верхней трассы с подкачкой на высоту около 20 метров.

Производительность насосов определялась в 1930 году во время приемки насосной станции. Испытание выявило, что производительность агрегатов при некотором понижении уровня озера сильно падает.

Но при работе 4 насосов, по два в каналы двух трасс, колебания уровня озера не столь сильно отражаются на производительности насосов.

Ниже приводим характеристики насосов как при раздельной работе агрегатов, так и при совместной работе каждой пары (рис. 70, 71).

При совместной работе агрегатов производительность каждого из них несколько снижается; это надо объяснить тем, что каждая пара насосов снабжена одним общим напорным трубопроводом, в связи с чем при одновременной работе 2-х насосов потеря напора в трубопроводе увеличивается, что и отражается на производительности.

На прилагаемом рис. 69 дан эскиз всасывающей части насоса № 1. Остальные насосы имеют идентичные условия всасывания.

На основании характеристик насосов нами составлен график зависимости производительности насосов от уровня воды в озере. Из графика видно, что при уровне озера в 190 см. производительность насоса № 3 равна 920 л/с, а при уровне 100 см—830 л/с, т. е. на 10% меньше, остальные насосы имеют аналогичные графики. Следовательно, для всех насосов имеем одинаковые условия.

Отмечается более значительное падение производительности насосов № 2 и № 3 при сниженном уровне озера.

Это обстоятельство заставляло откачивать воду в канал Нижней трассы преимущественно насосами № 1 и № 3, оставляя насос № 2 в резерве.

Из лимниграмм видно, что при прерывной работе насосной станции уровень озера по рейке колеблется в пределах 95—160 см., что вызывает колебания в производительности насосов в пределах всего 5%. Здесь необходимо указать на то, что лимниграф, установленный в голове канала Нижней трассы, т. е. у насосной станции, отмечает постоянный расход воды во все время работы насоса (рис. 73). Иначе говоря, понижение уровня озера во время работы насосов, подающих воду в канал Нижней трассы, отражается на производительности насосов меньше, чем на 5% (см. лимниграмму).

Что касается работы насосов, подающих воду в канал Верхней трассы, то этого утверждать мы не можем, так как на канале Верхней трассы не был установлен лимниграф.

Однако нами произведено сличение расходов, вычисленных для каналов в голове их по данным тарифовки этих каналов и по производительности насосов. Вычисления показывают, что расходы в канале Нижней трассы довольно близки к расходам, вычисленным по производительности насосов, питающих канал Нижней трассы.

Расходы, вычисленные по производительности насосов, питающих канал Верхней трассы, меньше тех расходов, которые получают по данным тарифовки этого канала.

Ниже приводим сличительную ведомость, составленную для тех дней 1933 г., когда горизонты озера после непрерывной продолжительной работы насосов могут считаться установившимися.

Просмотр таблицы показывает, что расходы в каналах меняются даже тогда, когда горизонты озера остаются без изменения. Это можно объяснить как неточностью измерений, так и тем обстоятельством, что производительность насосов зависит не только от горизонтов озера, но и от колебаний в некоторых пределах напряжения тока, влияющего на число оборотов насосов, каковое обстоятельство мы не учитываем.

Таблица 13

Сличительная ведомость расходов, вычисленных по производительности насосов и по данным тарифовки каналов за 1933 год в м³/с

Дата	Отметка уровня по рейке	Расход в канале Нижней трассы		Расход в канале Верхней трассы	
		По произ- водительн. насосов	По данным тарифовки	По произ- водительн. насосов	По данным тарифовки
V—24	130	1,65	1,56	0,82	0,89
VII— 5	108	1,60	1,56	1,49	1,71
	104	1,60	1,56	1,49	1,71
	104	1,60	1,59	1,49	1,70
VIII— 2	94	1,57	1,63	1,46	1,77
	94	1,57	1,59	1,46	1,77
	96	1,57	1,63	1,47	1,81
	96	1,57	1,63	1,47	1,81
IX—12	98	1,58	1,66	1,47	1,81
	114	1,61	1,62	1,50	1,65
	100	1,59	1,62	1,47	1,83
	108	1,60	1,62	1,49	1,81
X—31	98	1,58	1,62	—	—

С другой стороны, просмотр этой таблицы показывает, что если вычислять расходы по производительности насосов, то фактические расходы, возможно, будут не ниже вычисленных.

Учитывая одновременно с этим обстоятельством и то, что лимниграмма для канала Нижней трассы представляет из себя горизонтальную линию, не понижающуюся с понижением уровня озера, можем принять расход насосов в пределах фактических колебаний уровня озера, практически не зависящим от горизонта озера.

ЛИМНИГРАММА

При этом можем принять следующие производительности насосов:

№ 1 — 770 л/с	№ 2/3 — 1500 л/с
№ 2 — 735 »	
№ 3 — 850 »	№ 4/5 — 1500 л/с
№ 4 — 815 »	
№ 5 — 750 »	

Суммарная производительность насосов 1, 3, 4, 5 равна 3,12 м³/с. Приведенные ниже графики (рис. 13, 24, 58) указывают на то, что производительность насосов меняется в тесных пределах от 3,06 до 3,12 м³/с.

Если принять среднее число суток в месяце — 30,5, то получим среднее число часов в месяце — 732.

Каждый час работы насоса эквивалентен работе в течение всего месяца с производительностью $\frac{N}{732}$ л/с.

Принимая производительность насосов, согласно приведенным выше данным, составим таблицу расчетных среднемесячных и среднедекадных производительностей насосов за каждый час их работы.

Так как насосы № 4 и № 5 работают обычно спаренно, то при составлении таблицы принята их средняя производительность, равная 750 л/с.

Таблица 14

Среднемесячная и среднедекадная производительность насосов за каждый час их работы

Наименование	Производительность в л/с насосов				
	1	2	3	4	5
Среднемесячная	1,05	1,0	1,15	1,02	1,02
Среднедекадная	3,15	3,0	3,45	3,06	3,06

На основании этих данных исчислены среднесекундные расходы каждого насоса по числу часов его работы в течение месяца или декады, а также секундные расходы всей насосной станции.

4. УДЕЛЬНАЯ ОТДАЧА ОЗЕРА

Удельной отдачей озера будем называть увеличение отдачи его при понижении уровня на 1 метр.

Удельная отдача озера зависит от геологических и гидрогеологических условий, от условий питания водоносной среды.

Из самого определения понятия удельной отдачи очевидно, что она может быть представлена в виде $q = \frac{dQ}{dh}$, или приближенно $q = \frac{Q_2 - Q_1}{h_1 - h_2}$, где Q_1 , h_1 и Q_2 , h_2 — расходы озера и соответствующие им горизонты при двух различных стояниях уровня озера.

Во время работы насосной станции имеет место непрерывное изменение уровня воды в озере, и поэтому переменная отдача его.

Но для определения удельной отдачи озера нельзя пользоваться непосредственно указанными уровнями и отводимыми количествами воды.

Во время работы насосной станции происходит понижение уровня озера. Это понижение вызывает с одной стороны сработку запасов воды в озере, а с другой — сработку слоя воды, заключенной в трещинах и обломках горной породы между двумя депрессионными поверхностями, соответствующими двум горизонтам озера. Эти воды отличны от вод, которые поступают в озеро из недр в связи с понижением уровня озера.

Сработка наземного и подземного озера дает переменный во времени расход, каковой в переменной части сходит на нет, когда устанавливается горизонт озера при соответствующей постоянной отдаче озера.

Таким образом, при получении величины удельной отдачи озера нельзя исходить из расходов и горизонтов, которые имеют место при колебаниях уровня озера. Удельную отдачу надлежит определять лишь в условиях установившихся горизонтов и расходов.

Из этого нельзя делать заключения, что удельную отдачу озера нельзя определять при колеблющемся горизонте

озера, конечно, и в этом случае возможно его определить, но это будет сложнее.

Для безошибочного определения установившихся горизонтов озера мы использовали имеющиеся лимниграммы.

Лимниграммы довольно точно показывают дни и часы, когда озеро сохраняет постоянство горизонтов.

Несмотря на то, что имеются лимниграммы за много лет, все же не так много было дней, когда горизонты оставались неизменными; частые остановки работы насосов, выключение и включение одного или другого насоса вызывали постоянные колебания уровня озера.

Нам удалось все же отметить 8 случаев установившихся горизонтов.

Выбор этих дней ограничен еще и тем обстоятельством, что необходимо отмечать такие случаи, когда верхний и нижний установившиеся горизонты не столь отдалены по времени друг от друга. Это обстоятельство важно в том смысле, что гарантирует неизменность естественных горизонтов и расходов, иначе говоря, гарантирует сохранение режима питания озера на данном отрезке времени.

Ниже приводим график зависимости отдачи озера от уровня его, на котором также показаны горизонты и расходы попарно при низком и высоком стоянии уровня озера (рис. 2).

Горизонты взяты из лимниграмм или таблиц горизонтов, а расходы озера определены по кривой зависимости $Q = f(H)$ для расхода воды в протоке и по производительности насосов.

Все случаи показаны на графике и отмечены номерами от 1 до 8.

Как видно из графика, отмечены случаи, когда предельно низкие горизонты, постепенно повышаясь, доходят до наивысших.

Отмечены также случаи постепенного подъема уровня озера, так сказать, этапами, через промежуточные горизонты (1, 2, 3). Эти восемь случаев раскрывают характер изменения расходов и их связь с горизонтами.

Как видно из графика, линии, соединяющие крайние

точки, практически параллельны. Наклон этих линий определяет величину удельной отдачи.

Для более точного определения значения удельного дебита составляем кривую зависимости отдачи озера от горизонтов его. Для этой цели пользуемся не только точками, по-

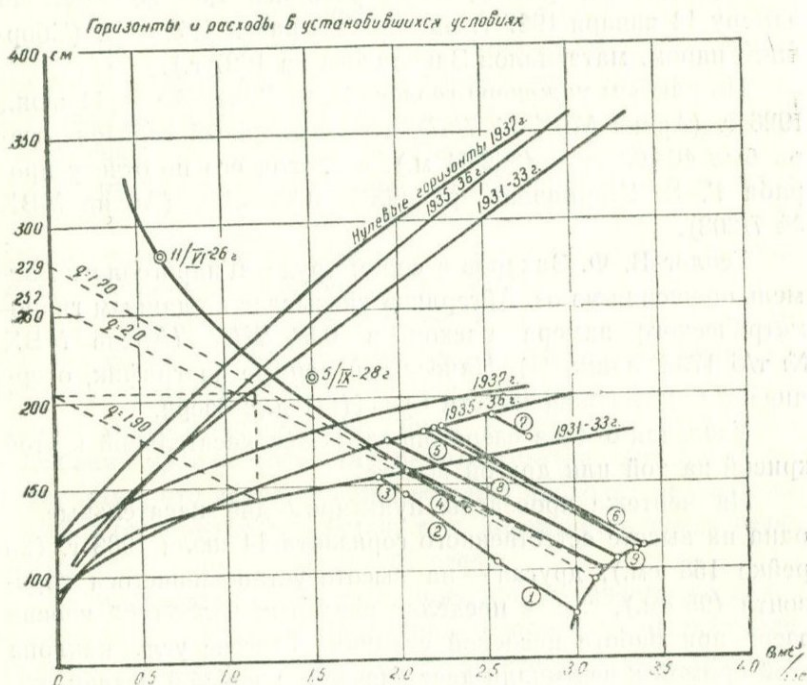


Рис. 2. Кривая зависимости водоотдачи озера от его горизонта

Первоначальный горизонт озера по данным инж.-геолога

В. Ф. Захарова ст 11/VI—26 г. был 404,03 с. (862,04 м.):

$$h = 862,04 - 858,707 = 3,33 \text{ м.}$$

Согласно отчетному докладу Г. В. Ширмазана от 5/XI—28 г., при горизонте озера 860,822 м. расход был около 1,5 м³/с.

Использованы расходы при установившихся горизонтах за дни:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. 1932 г. 21—22 июня | 6. 1934 г. 9—12 сентября |
| 2. 1932 г. 21—22 июля | 7. 1934 г. 4—6 мая |
| 3. 1932 г. 22—24 апреля | 8. 1935 г. 25 июля |
| 4. 1932 г. 13—14 сентября | 9. 1935 г. 14—15 августа. |
| 5. 1934 г. 30—31 августа | |

Подчеркнутые — при понижении уровня озера, остальные — после восстановления уровня его.

лученными на основании рассмотрения приведенных выше восьми случаев, но и данными о расходах и горизонтах при более высоком стоянии уровня озера.

Согласно отчету прораба Г. В. Ширмазана от 5 сентября 1928 г. (Архив МВХ № 7/408), при горизонте озера 403,46 саж. (860,82 м.) расход озера равнялся 1,5—2,0 м³/с. По замеру 14 января 1927 г. расход был равен 1,52 м³/с. (Сборник Гидром. материалов Заводхоза за 1927 г.).

По данным инженера-геолога В. Ф. Захарова от 11 июня 1926 г. (Архив МВХ № 7/57) первоначальный горизонт озера был 404,03 саж. (862,04 м.), а расход его по отчету прораба Г. В. Ширмазана равнялся 0,65 м³/с. (Архив МВХ № 7/208).

Геолог В. Ф. Захаров в своем труде «Гидрогеология земель орошения из оз. Айгерлич» указывает по данным гидрометрического замера расход в 0,54 м³/с. (Архив МВХ № т/б 1737, папка II). Нанеся эти данные на график, очерчиваем кривую зависимости $Q = f(H)$ для озера.

Удельная отдача озера определяется касательной к этой кривой на той или другой высоте.

На чертеже проведены пунктиром две касательные, — одна на высоте естественного горизонта 14 июля 1933 г. (по рейке 158 см.), другая — на высоте установившегося горизонта (95 см.), т. е. в пределах реальных колебаний уровня озера при работе насосной станции. Тангенс угла наклона этой прямой к вертикали дает значение удельной отдачи, которая для первого случая равна $q = 1.70$ м³/с, а для второго — $q = 2.0$ м³/с.

Удельные отдачи для промежуточных горизонтов вычислены путем интерполяции и приведены в таблице 19.

Рассмотрение этого графика (рис. 2) показывает, что удельная отдача падает с повышением уровня озера и увеличивается с понижением горизонтов.

Точка встречи касательной с осью ординат показывает расчетную высоту нулевого горизонта озера в предположении однородности водоносной породы, соответствующей точке касания.

Нулевой горизонт — это тот горизонт, который соответ-

ствует бессточному озеру, иначе говоря, тот горизонт, который получился бы, если бы проток был бы закрыт.

В условиях откачки или открытого протока нулевой горизонт находится на уровне точки касания депрессионной кривой с естественным уровнем грунтовых вод.

На рис. 2 нулевые горизонты вынесены на соответствующие ординаты точек кривой зависимости $Q = f(H)$ и представлены в виде кривых. (Пунктирный треугольник показывает построение кривых нулевых горизонтов).

График вскрывает две особенности:

1) разнообразие удельных отдач при разных высотах стояния уровня озера и 2) различные нулевые горизонты при разных естественных горизонтах и расходах, т. е. для разных точек кривой зависимости $Q = f(H)$.

Чем можно объяснить разнообразие удельных отдач озера при сравнительно незначительных изменениях горизонта озера в пределах всего 4—4,5 м.? Навряд ли гидрогеологические условия водоносной среды в пределах возможных колебаний уровня могут так резко меняться. Это тем более невероятно, что депрессионная воронка проходит на большой глубине от поверхности земли, т. к. поверхность земли резко повышается непосредственно от озера.

Нам представляется, что причиной изменений удельной отдачи озера является повышенное сопротивление поступлению вод в озеро в зоне, непосредственно примыкающей к озеру, где грунты до некоторой степени закольматированы, трещины занесены.

Здесь имеем аналогию с фильтром в скважине. Всякий фильтр вызывает дополнительную потерю напора. При больших откачках из скважин, при больших депрессиях, удельный вес дополнительного сопротивления от фильтра невелик, но при малых откачках сопротивление фильтра будет чувствоваться сильнее и искажение удельного сопротивления водоносной среды будет больше.

Это одна причина. Второй причиной, до некоторой степени зависящей от первой, может быть то обстоятельство, что при малых расходах активная зона располагается почти целиком в тугих грунтах, окружающих неширокой полосой

озеро. При больших расходах активная зона, становясь шире, частью выходит из этой тугой среды, чем и облегчается движение потока, поступающего в озеро, и повышается его удельная отдача.

В этом освещении кривая дебитов будет иметь кривизну, постепенно теряющуюся книзу, где кривая должна все более и более выпрямляться, отражая фактическое сопротивление водоносной горной породы, не искаженное местным сопротивлением зоны, непосредственно прилегающей к озеру.

Причину изменения во времени нулевых горизонтов озера, соответствующих различным естественным горизонтам и отдам озера, можем объяснить следующим образом.

Здесь имеет место различное по размерам поступление вод в зону озера. Как в обычном речном потоке, имеются колебания расхода воды, так и в подземном потоке, питающем озеро, имеют место колебания расходов во времени, что находит отражение в соответствующих изменениях нулевых горизонтов.

В этих условиях сама кривая $Q = f(H)$ будет смещаться, занимая как бы параллельные положения, совмещаясь в нижней концевой части с теми линиями, которые на рис. 2 отмечены номерами от 1 до 8.

Таким образом, кривая $Q = f(H)$, приведенная на графике, представляет лишь одну из частных кривых для отдачи озера, соответствующую той или другой интенсивности питания его.

Практическое значение этого графика велико. Он дает не только величину удельных отдач озера, но также и представление о ширине той полосы, в пределах которой на графике может колебаться сама кривая отдач.

Помимо этого, пользуясь этим графиком, мы можем восстановить естественный режим озера, искаженный откачкой.

Положим, что в связи с откачкой мы имели установившийся горизонт h и отдачу озера Q . Пользуясь графиком, мы можем ответить на вопрос, каковы были бы расход и горизонт озера, если бы не было откачки. Для этого надлежит, как показано на рис. 3, провести из точки a , определяющей расход и горизонт при откачке четырьмя насосами, наклон-

ную прямую с уклоном, соответствующим уклону линии $q = 1,9 \text{ м}^3/\text{с}$, до встречи с кривой $Q = f(H)$. В точке встречи будем иметь дебит и горизонт озера в естественных условиях.

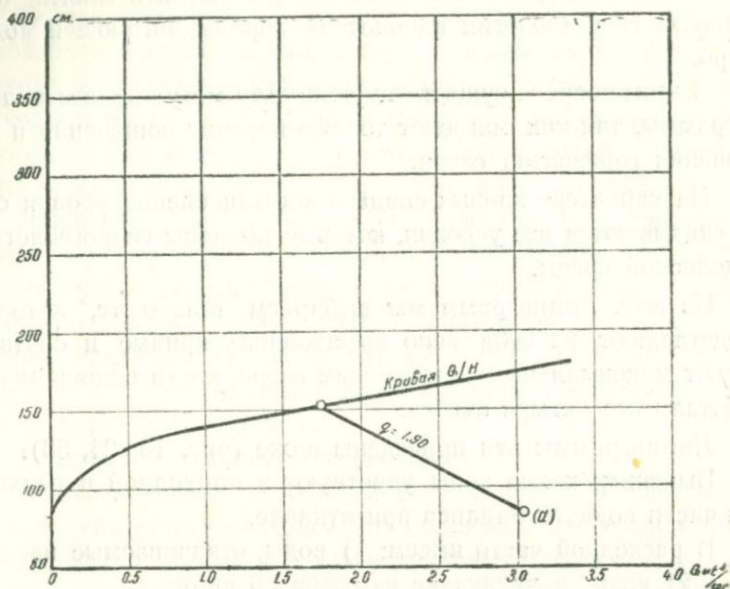


Рис. 3. Определение естественного горизонта и дебита озера при откачках воды насосами.

На рис. 72—77 приведены расходы озера в естественных условиях за период 1931—1935 гг.

Для составления этого графика и соответствующих таблиц использованы те дни, когда насосная станция по той или другой причине не работала. А за дни, когда на станции непрерывно продолжительное время работали одни и те же насосы, восстановление естественных расходов и горизонтов произведено по указанному выше методу.

5. РЕЖИМ ОЗЕРА ВО ВРЕМЯ ОТКАЧЕК НАСОСАМИ

Гидрогеологические условия, определяющие жизнь озера, лучше всего могут быть выявлены в условиях изучения динамики в его режиме.

Изучение озера в статических условиях не может быть особенно эффективным и разносторонним.

Колебания горизонтов озера во время работы мощной насосной станции дают нам возможность изучить многие особенности гидрогеологии водоносной породы, питающей водой озеро.

В этом вопросе существенную пользу могут принести лимниграммы, так как они дают точную картину понижения и повышения горизонтов озера.

На характере кривых спада и восстановления уровня озера сказываются все условия, которые вызваны гидрогеологией водоносной среды.

Из всех лимниграмм мы выбираем только те, которые представляют из себя ясно выраженные кривые и соответствуют максимальным понижениям озера, когда одновременно работали все четыре насоса.

Лимниграммы эти приведены ниже (рис. 13, 24, 58).

Выясним, какие воды участвуют в приходной и расходной части водного баланса при откачке.

В расходной части имеем: 1) воды, откачиваемые насосами, и 2) воды, вытекающие из озера по протоку.

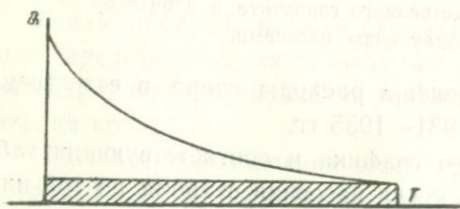


Рис. 4. Схематический график падения расходов воды в протоке во время откачек из озера.

При рассмотрении работы насосов было выяснено, что расход откачиваемой воды, несмотря на понижение уровня озера, можно считать почти постоянным. Графически это может быть представлено почти горизонтальной линией. Расход же воды, вытекающей

из озера по протоку, будет переменный; он будет наибольшим в первые минуты работы станции и затем будет уменьшаться с понижением уровня озера.

В условиях Айгерлича для отмеченных нами дней при установившемся горизонте озера расход по протоку не дохо-

ди до нуля, а имеет некоторую, хотя и незначительную величину.

График, изображающий падение расходов воды, вытекающей по протоку, имеет вид, показанный на рис. 4.

Считая, что производительность насосов постоянна, будем прибавлять к откачиваемым насосами водам постоянную часть расхода воды по протоку (заштрихованная полоса). Тогда в расходной части баланса будем иметь: 1) постоянный расход насосов и постоянную часть расхода, вытекающей по протоку воды, и 2) переменную часть расхода воды протока.

В приходной части имеем: 1) подземные воды, поступающие в озеро в связи с искусственным понижением уровня озера, 2) срабатываемые запасы воды видимой части озера и 3) срабатываемые запасы воды в подземной части озера в объеме, заключенном между двумя депрессионными поверхностями, соответствующими двум крайним горизонтам озера при колебании его уровня.

Примем следующие обозначения:

N_1 — секундный постоянный расход в $\text{м}^3/\text{с}$, представляющий из себя сумму расходов, откачиваемых насосами и вытекающих через проток при установившемся горизонте озера.

N_2 — секундный переменный расход воды через проток в $\text{м}^3/\text{с}$.

h — понижение уровня озера в метрах между первоначальным горизонтом озера и установившимся нижним горизонтом его после продолжительной откачки.

x — переменная высота стояния уровня воды в озере, соответствующая данному моменту, считая ее от нижнего установившегося горизонта.

k — секундный расход в $\text{м}^3/\text{с}$ воды, заключенной между двумя депрессионными поверхностями.

q — удельная отдача озера в $\text{м}^3/\text{с}$.

Уравнение баланса расходов для дифференциального промежутка времени dt , считая его в часах, будет

$$3600N_1dt + 3600N_2dt = 3600q(h-x)dt + 56000dx + 3600kdt$$

В этом уравнении член $56000 dx$ представляет срабатываемый объем воды озера при снижении его уровня на величину dx за время dt . При снижении уровня озера на 1 метр

по приведенным выше расчетам освобождается в среднем 56000 м³ воды.

Если это уравнение рассмотрим для момента, когда горизонт озера уже установился, то

$$x = 0; \quad N_2 = 0; \quad k = 0.$$

Поэтому

$$N_1 dt = qh dt$$

или

$$N_1 = qh$$

6. ИНТЕНСИВНОСТЬ СРАБОТКИ ОЗЕРА

Из уравнения баланса следует, что собственно озерная вода при понижении уровня озера отводится насосами.

Так как горизонт озера понижается во времени неравномерно, то и интенсивность расходования озерной воды будет неодинаковая во времени.

Из механики известно, что скорость движения определяется первой производной от траектории, представленной в функции от времени.

Лимниграммы представляют из себя кривые падения и восстановления уровня озера в функции от времени; поэтому тангенс наклона касательной к этой кривой даст скорость сработки озера. При этом надо иметь в виду, что лимниграмма представляет из себя кривую связи между глубиной воды, выраженной в сантиметрах, и временем, выраженным в часах; скорость же сработки озера желательно получить в куб. метрах в секунду, поэтому необходимо соответственным образом подобрать масштабы графиков.

Так как кривая спада и восстановления уровня озера имеется в нашем распоряжении в виде лимниграмм, иначе говоря, в графическом виде, а не в виде уравнения, мы прибегаем к методу графического дифференцирования лимниграмм.

Положим, что озеро отдает воду с интенсивностью в 1 м³/с, при этом уровень озера понижается на Δx метров в секунду. Так как площадь озера, соответствующая среднему стоянию уровня, равна 56.000 м², то

$$\Delta x = \frac{1}{56.000} \text{ метров.}$$

Этот случай соответствует той части лимниграмм, где наклон касательной определяется абсциссой в 1 сек. и ординатой Δx (рис. 5). Тот же наклон касательной будет иметь место, если мы оба катета умножим на 56.000, как то показано на рис. 6.

В обработках, приведенных ниже, лимниграммы представлены в двух разных масштабах.

В одном случае лимниграммы представлены в натуральную величину и имеют следующие масштабы:

1. Масштаб времени 3 м/м — 1 час.
2. Масштаб глубин 1 м/м — 1 см.

или иначе

масштаб времени 1 м/м — 1200 сек.

масштаб глубин 1 м/м — 1 см.

поэтому в масштабе лимниграмм 56.000 сек. соответствуют $\frac{56.000}{1200} = 46,7$ м/м.

При этом тангенс угла наклона касательной будет

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{46,7}{100} = 0,467$$

Если примем масштаб расходов при сработке озера 10 м/м — 1 м³/с, — то полюс интеграла в выбранном масштабе получит величину $S = 10 \times 0,467 = 4,67$ м/м

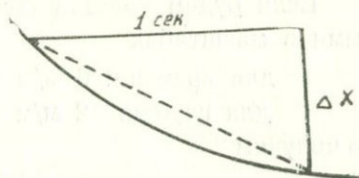


Рис. 5. Лимниграмма с показанием падения уровня озера в течение одной секунды.

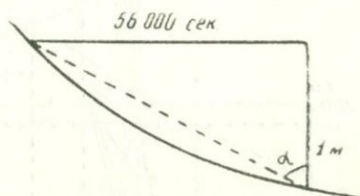


Рис. 6. Лимниграмма с показанием падения уровня озера на 1 м.

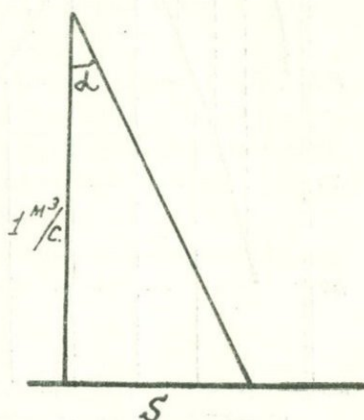


Рис. 7. Определение полюса интеграла по заданному масштабу для расходов озера.

Графическое дифференцирование, проведенное при указанном полюсном расстоянии, даст расходы при сработке озера в масштабе 1 см. — 1 м³/с.

Если будем пользоваться лимниграммами, представленными в масштабах

для времени: 6 м/м — 1 час или 1 м/м — 600 сек.

для глубин: 2 м/м — 1 см. или 1 м/м — 0,5 см.,

то получим

$$\text{абсциссу} - \frac{56.000}{600} = 93,3 \text{ м/м,}$$

$$\text{ординату} - 1 \text{ метр} - 200 \text{ м/м}$$

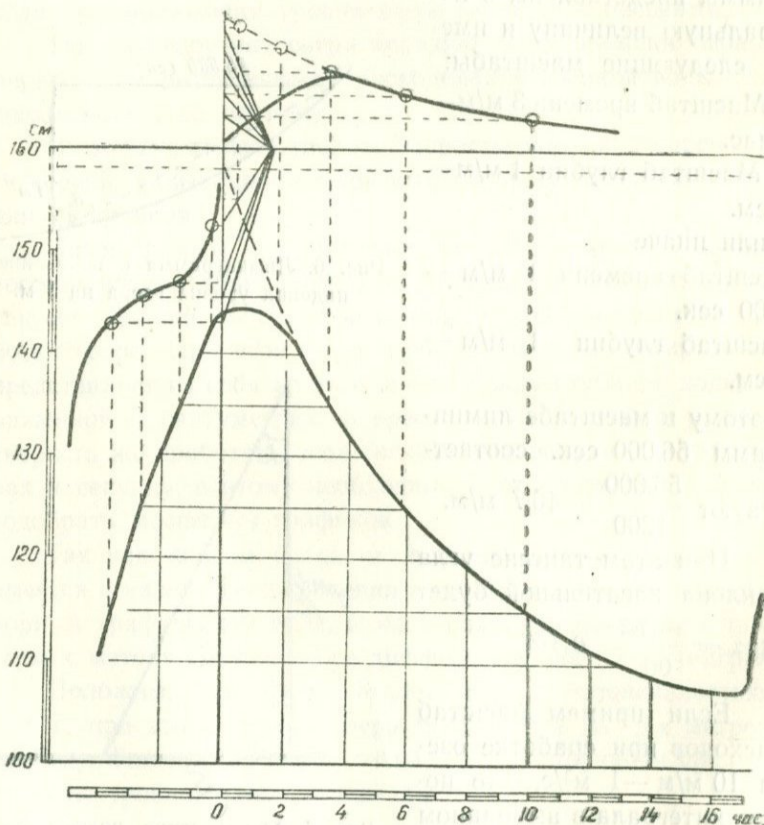


Рис. 8 Определение интенсивности сработки и восстановления озера графическим дифференцированием лимниграмм.

Поэтому полюс интеграла получит свою величину, если масштаб расходов от сработки озера для этого случая примем $1 \text{ м}^3/\text{с} — 20 \text{ м/м}$.

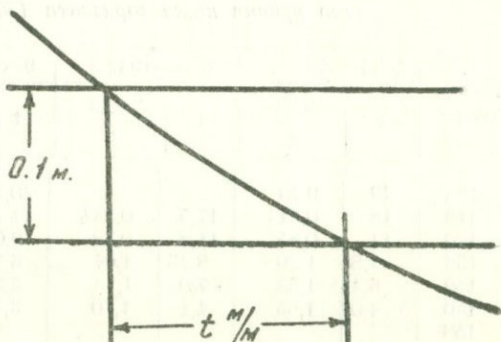
$$S = 20 \frac{93,3}{200} = 9,33 \text{ м/м}$$

При этих условиях проведена обработка лимниграмм за 13, 14 и 15 июля 1933 г. и за 5, 6, 9 и 10 ноября 1932 года.

На рис. 8 выполнено графическое дифференцирование лимниграммы за 14 июля 1933 г., а также для случая, когда понижение уровня озера начинается от естественного горизонта (пунктир).

Приведем и другой метод определения интенсивности сработки озера, основанный на иных началах.

Пусть имеем кривую спада уровня озера, пересеченную двумя горизонтальными линиями, проведенными на расстоянии 10 см. друг от друга.



Масштаб расходов и интенсивности сработки и восстановления $1 \text{ м}^3/\text{с} — 2 \text{ см}$.

Рис. 9. К определению средней интенсивности сработки озера в течение t сек.

Если на чертеже имеем $t \text{ м/м}$, то это означает $600 t$ сек. Если уровень озера в течение $600 t$ сек. падает на 10 см., то это означает, что за это время озеро срабатывает объем воды, заключенный в 10 см. слое. Этот объем равен

$$0,1 \times 56.000 = 5600 \text{ м}^3.$$

Поэтому средняя интенсивность сработки озера в рассматриваемом интервале будет

$$Q = \frac{5600}{600 t} \text{ м}^3/\text{с} \text{ или } \frac{9,33}{t} \text{ м}^3/\text{с}$$

Эту ординату откладываем по середине 10 см. участка графика.

Таким же способом можем получить и кривую интенсивности при восстановлении уровня озера.

Как было приведено выше, расход воды от сработки озера определяется по кривой, представляющей первую производную от кривой колебания уровня озера. Этот же расход несколько грубее можно определить и по формуле $\frac{9.33}{t} \text{ м}^3/\text{с}$.

Ниже приводим в табличной форме исчисление этих расходов для разных горизонтов озера при понижении его уровня.

Таблица 15

Ведомость исчисления интенсивности сработки озера при понижении его уровня ниже горизонта 158 см. в $\text{м}^3/\text{с}$.

Гориз. озера	5/XI—1932 г.		6/XI—1932 г.		9/XI—1932 г.		10/XI—1932 г.	
	t	9.33	t	9.33	t	9.33	t	9.33
		t		t		t		t
100	49	0,19	—	—	30,5	0,305	36	0,26
110	19	0,517	17,5	0,534	14	0,665	16,5	0,57
120	11	0,85	11,5	0,79	9,0	1,03	10	0,93
130	7,8	1,20	8,75	1,07	6,75	1,38	7,75	1,20
140	6,1	1,53	7,0	1,34	5,5	1,70	6,2	1,50
150	4,0	1,85	4,4	1,70	3,7	2,02	4,2	1,78
158								
$q_1 \text{ м}^3/\text{с}$	—	3,36	—	2,88	—	3,50	—	3,12

Примечание: Для 5/XI—32 г. разность в интервале 135—145 см. дает $1,53 - 1,20 = 0,33 \text{ м}^3/\text{с}$, а на 1 метр даст $3,30 \text{ м}^3/\text{с}$. Табличные данные можно проверить равенством:

$$(0,19 + 0,52 + 0,85 + 1,2 + 1,53) \cdot 0,1 = \frac{q_1 x^2}{2} = \frac{3,36 \cdot 0,5^2}{2}$$

и так во всех других случаях.

Таблица 16

Гориз. озера	13/VII—1933 г.		14/VII—1933 г.		15/VII—1933 г.	
	t	9.33	t	9.33	t	9.33
		t		t		t
100	56	0,16	—	—	—	—
110	27	0,35	30	0,31	29	0,32
120	15,5	0,60	17,5	0,53	16	0,58
130	10,9	0,85	12,0	0,78	12,0	0,78
140	8,5	1,10	9,5	0,98	9,6	0,97
150	5,9	1,27	6,4	1,17	6,5	1,15
158						
$q_1 \text{ м}^3/\text{с}$	—	2,30	—	2,18	—	2,13

Таблица 17

Ведомость исчисления интенсивности повышения уровня озера при его восстановлении в м³/с.

Гори- зонт	t	$\frac{9,33}{t}$	Гори- зонт	t	$\frac{9,33}{t}$	Гори- зонт	t	$\frac{9,33}{t}$
	5/XI—32 г.			9/XI—32 г.			13/VII—33 г.	
155	12	0,39	151	4	0,23	144		
150	15	0,62	150	17,5	0,53	140	5	0,75
140	9	1,035	140	8,5	1,10	130	7	1,335
130	4,3	2,15	130	6	1,55	120	6,5	1,45
120	3,5	2,65	120	5	1,85	110		
110	3,0	3,10	110	4	2,33		5,5	1,70
100			100					

Таблица 18

Гориз.	t	$\frac{9,33}{t}$	Гориз.	t	$\frac{9,33}{t}$
	14/VII—33 г.			15/VII—1933 г.	
155			142		
150	10	0,47	140	4	0,17
140	9	0,98	130	10	0,93
130	8	1,16	120	6	1,55
120	6	1,55	110	5	1,87
110	4	2,33			

Максимальная ордината интенсивности сработки озера будет соответствовать точке перегиба кривой спада уровня озера.

В той точке, где кривая спада имеет горизонтальную касательную, тангенс будет равен нулю, значит кривая сработки озера даст нулевую ординату.

В нижней части кривой спада уровня озера при $t = \infty$ имеем также горизонтальную касательную. Поэтому при $t = \infty$ кривая сработки озера имеет нулевую ординату, т. е. сработка озера прекращается.

Таковы характерные черты кривой интенсивности сработки озера.

Если полученные ординаты кривой интенсивности сработки озера откладывать в горизонтальном направлении на линиях соответствующих глубин, то получаем наклонную прямую линию. Эта замечательная особенность имеет место для всех разобранных нами случаев.

На рис. 13, 24 и 58 представлены лимниграммы и прямые, изображающие зависимость интенсивности сработки озера в функции от глубины x .

Если тангенс угла наклона этой прямой обозначим через q_1 , то уравнение интенсивности сработки озера в функции от глубины будет

$$Q = q_1 x$$

Если $x = 0$, то $Q = 0$,—это означает, что точкой пересечения прямой с вертикальной осью определяется та глубина, которой достигает уровень озера при данной интенсивности сработки озерной воды (откачкой и через проток); этот горизонт имеет место при t , равном бесконечности (рис. 10).

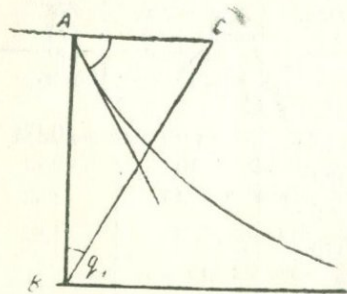


Рис. 10. Зависимость интенсивности сработки озера от понижения уровня его.

Отрезок AC на линии верхнего естественного горизонта даст величину сработки в начальный момент, когда озеро только начинает сбрасываться.

Если составить такой же график и для случая восстановления уровня озера, то получим уже не прямую, а кривую линию, начинающуюся в нижнем конце касательной, имеющей тангенс, равный той же величине q_1 . Кривая эта кончается у верхнего естественного горизонта озера, пересекая его под углом (рис. 11).

Выше было указано, что в треугольнике интенсивности сработки озера сторона AC равна интенсивности сработки озера на линии верхнего естественного уровня озера. Чем больше будет этот катет, тем больше получится и значение q_1 .

Будем называть величину q_1 удельной интенсивностью сработки озера, если изменение высоты уровня озера равно 1 м.

Величина AC равна тангенсу угла наклона касательной в начальной точке кривой понижения уровня.

Поэтому, чем больше будет величина AC , тем больше будет и наклон касательной к кривой понижения уровня в точке A .

Имея треугольник интенсивности сработки озера, можем составить уравнение кривой понижения его уровня.

Если интенсивность сработки озера на глубине x равна $q_1 x$ м³/с, то в 1 час будет сбрасываться $3600 q_1 x$ м³, а за время dt (t — в часах) количество сброшенной воды озера будет $3600 q_1 x dt$.

При этом за время dt уровень озера опускается на величину dx , сбрасывая $56000 dx$ м³ воды.

Тогда

$$3600 q_1 x dt = -56.000 dx$$

Здесь стоит знак (—) по той причине, что при возрастании t величина x уменьшается.

Для иллюстрации приводим схему кривой, выражаемой приведенным уравнением (рис. 12).

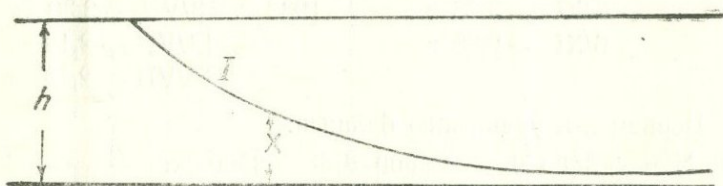


Рис. 12. Схема падения уровня воды в озере при откачке.

Приведенное выше уравнение может быть представлено в следующем виде:

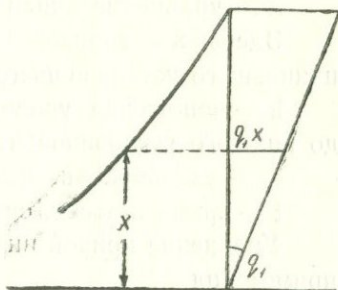


Рис. 11. Зависимость интенсивности восстановления воды в озере от повышения уровня его.

$$\frac{dx}{x} = -0,064 q_1 dt$$

Интегрируя, получим

$$x = h e^{-0,064 q_1 t}$$

Это уравнение кривой понижения уровня озера.

Здесь x — горизонт в данный момент, считая его от наинизшего установившегося горизонта.

h — понижение уровня озера от естественного горизонта до нижнего установившегося.

q_1 — удельная интенсивность сработки озера.

t — время в часах, считая его от начала откачки.

Уравнение кривой интенсивности сработки озера при этом примет вид

$$Q = q_1 x = q_1 h e^{-0,064 q_1 t}$$

Нами были рассмотрены кривые понижения уровня озера в различные характерные дни; анализ показал, что значение q_1 для разных дней различно, следовательно, будут различны и кривые понижения уровня озера, но их аналитическое выражение остается одним и тем же.

Это значит, что все кривые понижения уровня относятся к одному и тому же семейству.

В результате обработки лимниграмм получены следующие значения для q_1

1932 г. 5/VII — 3,1 м ³ /с	1932 г. 9/XI — 3,50 м ³ /с
31/VII — 3,3 »	10/XI — 3,12 »
5/XI — 3,36 »	1933 г. 13/VII — 2,30 »
6/XI — 2,88 »	14/VII — 2,18 »
	15/VII — 2,13 »

Вернемся к уравнению баланса:

$$3600 N_1 dt + 3600 N_2 dt = 3600 q h dt - 3600 q x dt + 56000 dx + 3600 k dt$$

Раньше мы имели

$$N_1 = qh$$

и, кроме того, равенство абсолютных значений величин

$$56000 dx \text{ и } 3600 q_1 x dt$$

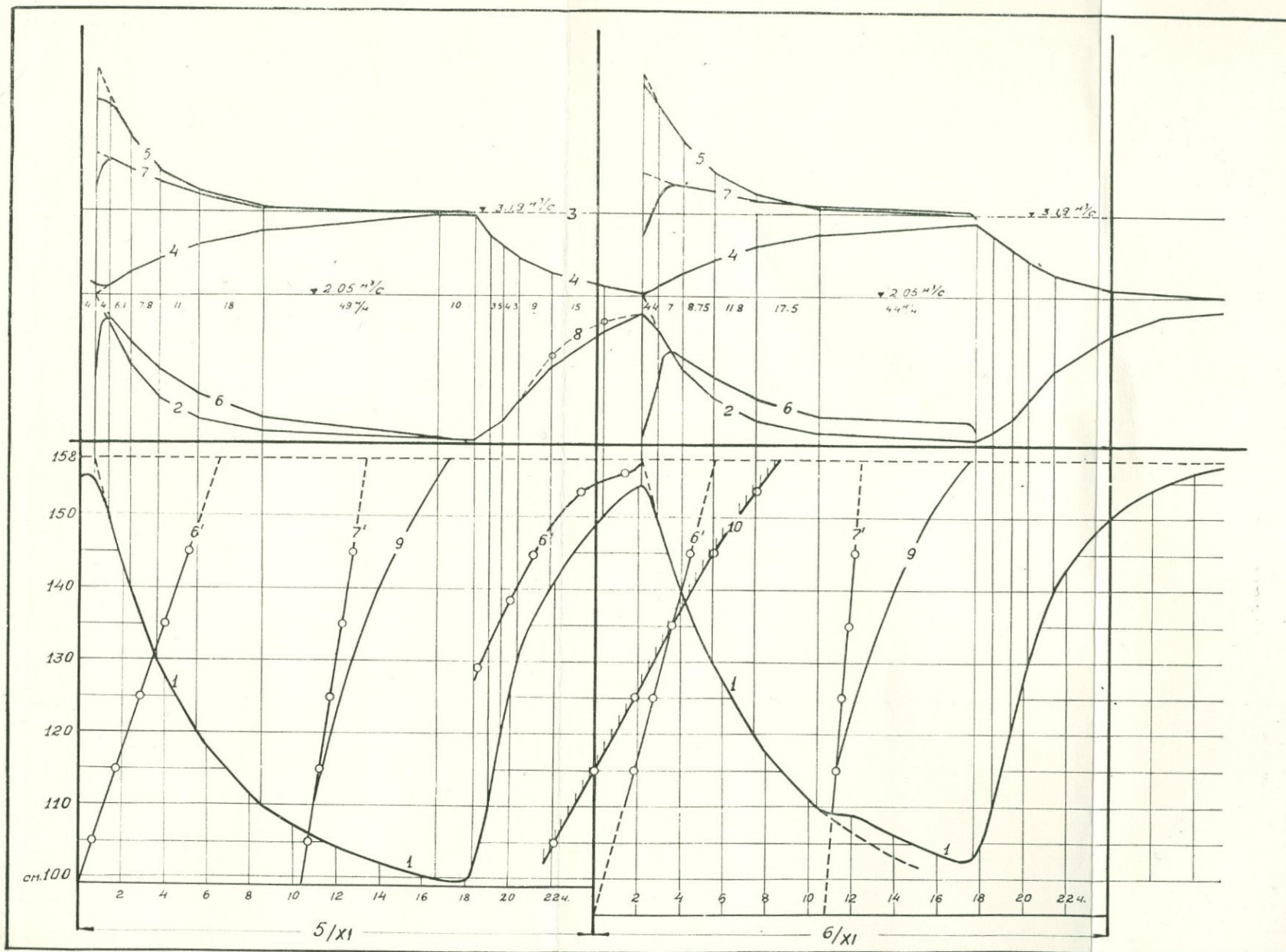


Рис. 13. Режим озера при откачках насосами 5—6 ноября 1932 г.

1. Лимниграммы, масштаб 1 см—2 мм.
2. Расходы через проток.
3. Постоянная часть расхода озера.
4. Поступление воды в озеро в связи с понижением его уровня.

5. Расходы через проток за вычетом постоянной части.
6. Интенсивность сработки и восстановления озера.
7. Сумма вод поступления и сработки озера.
8. Инфильтрация в берега.
9. Расходы депрессионных вод.
10. Удельные стоки в масштабе 1000 м^3 —1 мм.

Введя эти значения в уравнение баланса, получим

$$3600 N_2 dt = 3600 k dt + 3600 (q_1 - q) x dt$$

$$\text{или } N_2 dt = k dt + (q_1 - q) x dt$$

Здесь N_2 — уменьшающийся до нуля расход через проток,
 k — расход депрессионных вод;

q_1 — удельная интенсивность сработки озера;

q — удельная отдача озера.

Из уравнения следует, что при $q_1 = q$

$$N_2 dt = k dt$$

т. е. расход депрессионных вод равен расходу через проток.

Это чрезвычайно интересное обстоятельство, дающее возможность иметь точное представление о процессе сработки объема воды, заключенного между двумя депрессионными поверхностями.

Будем называть удельную интенсивность сработки озера q_1 — нормальной, если она по величине равна удельной отдаче озера q .

Случай, достаточно близкий к подобному, отмечен 14 — 15/VII 1933 года.

В этом частном случае уравнение баланса распадается на три самостоятельных уравнения:

$$1) N_1 = qh$$

$$2) N_2 dt = k dt$$

$$3) \frac{dx}{x} = 0,064 q_1 dt$$

7. ВОДЫ, ПОСТУПАЮЩИЕ В ОЗЕРО В СВЯЗИ С ПОНИЖЕНИЕМ ЕГО УРОВНЯ

В верховьях р. Севджур, вдоль по реке, на протяжении трех километров выступают многочисленные родники с общим дебитом 15—16 м³/с.

Поступление воды происходит в основном с севера и северо-запада. Подземный поток направляется по трещинам базальтовой лавы, образуя у истоков реки Севджур подобие подземного озера. Поверхность этого озера имеет наклон в сторону истоков р. Севджур. Об угле наклона можно судить по тому, что отметка воды в шурфе в Куругеле (рис. 6.) выше

отметки истоков р. Севджур на 2 метра при расстоянии между этими точками в 800 метров. Подземный поток, направляющийся к истокам р. Севджур, встречает на своем пути озеро Айгерлич, которое создает местную депрессию (рис. 14).

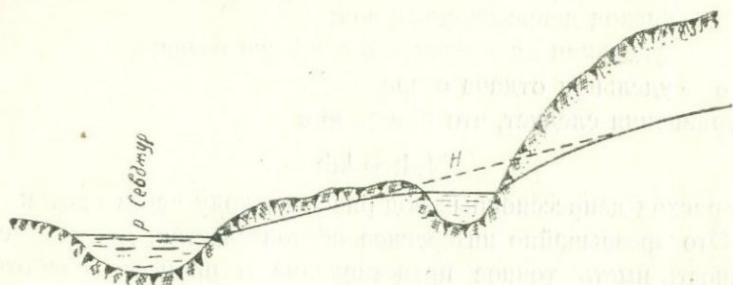


Рис. 14. Местная депрессия у озера Айгерлич на подземном потоке в сторону истоков р. Севджур.

Если отметка нулевого горизонта при отсчете по гидрометрической рейке будет H , то при откачке до любого промежуточного горизонта h напор будет иметь величину $H - h$, и расход воды, поступающей в озеро под указанным напором, будет (рис. 15).

$$Q = q(H - h) \text{ м}^3/\text{с}.$$

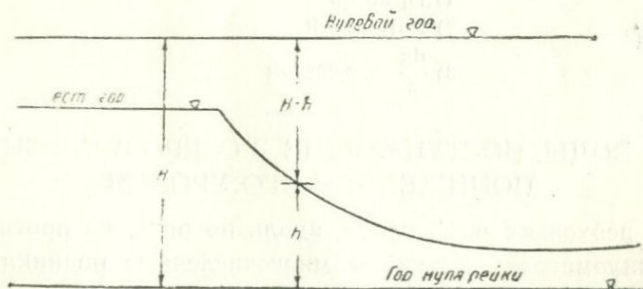


Рис. 15. График свободного напора при понижении уровня озера.

Эта формула выражает практически прямолинейный закон изменения расхода от напора, что можно допустить лишь в условиях однородного водоносного грунта.

Выше, когда определялась зависимость расходов от высо-

ты стояния уровня воды в озере, мы имели эту зависимость в виде кривой линии (рис. 2).

Для возможности пользоваться прямолинейной зависимостью $Q = f_1(H)$ необходимо брать не фактическую высоту стояния воды, которая, согласно упомянутого графика, измеряется в 5 метров, а ту, так сказать, расчетную высоту, которая отсекается на оси ординат касательной к кривой $Q = f(H)$, проведенной на рассматриваемом уровне озера.

На рис. 2 проведены две касательные, соответствующие идентичным условиям, имевшим место в ноябре 1932 и в июле 1933 г., т. е. уровню 158 см., соответствующему естественному горизонту озера при расходе 2,05 м³/с, и уровню 95 см. при расходе 3,19 м³/с.

Наклон этих касательных определяет величины удельных отдач озера от 1,7 м³/с до 2,0 м³/с при среднем значении $q = 1,90$ м³/с.

Нулевые горизонты их располагаются на высоте соответственно: 2,79 м. и 2,57 м., считая по озерной рейке 1931/36 гг. с абсолютной отметкой нуля рейки 842,627 м.

Поступления в озеро воды при искусственном понижении его уровня представлены ниже в таблице 19.

При восстановлении уровня озера до отметки естественного горизонта 158 см. поступление воды в озеро балансируется расходом по потоку.

Таблица 19

Ведомость удельных отдач и поступления воды в озеро в связи с понижением его уровня в м³/с.

Горизонт	Расход по потоку	Удельная отдача	H м	H—h м	q(H—h)
95	0,05	2,0	2,57	1,62	3,24
100	0,08	1,99	2,58	1,58	3,14
105	0,12	1,97	2,59	1,54	3,03
110	0,17	1,94	2,61	1,51	2,93
115	0,25	1,92	2,63	1,48	2,84
120	0,34	1,89	2,65	1,45	2,74
125	0,47	1,87	2,67	1,42	2,65
130	0,63	1,84	2,69	1,39	2,56
135	0,80	1,81	2,71	1,36	2,46
140	1,05	1,79	2,73	1,33	2,38
145	1,28	1,77	2,74	1,29	2,28
150	1,55	1,74	2,76	1,26	2,19
154	1,80	1,72	2,77	1,23	2,12
158	2,05	1,70	2,79	1,21	2,05

Примечание: Так как кривая $Q=i(H)$ представляет из себя кривую спрямляющуюся, то среднее значение удельной отдачи определяется не как среднее арифметическое по крайним значениям q , взятым из таблицы 19, а по формуле:

$$q = \frac{3,24 - 2,05}{1,58 - 0,95} = 1,90 \text{ м}^3/\text{с}$$

при работе 4 насосов и соответственно $q = 1,85$ и $q = 1,80 \text{ м}^3/\text{с}$ при работе 3-х и 2-х насосов.

В уравнении баланса приходная часть образуется из следующих вод: а) вод от сработки озера, б) вод, поступающих в озеро в связи с искусственным понижением его уровня, и в) депрессионных вод. Расходная часть баланса состоит из вод, поступающих в проток, и вод, откачиваемых насосами.

Все элементы этого баланса нам известны, за исключением депрессионных вод, каковые легко могут быть определены из уравнения баланса.

Ниже в табличной форме приводим исчисление суммарного количества воды, срабатываемого при понижении уровня озера, и вод, поступающих в результате депрессии.

Таблица показывает, что связь между суммарным количеством указанных вод и горизонтами озера представляет из себя прямую линию.

Эта прямая представляет из себя для нормальных условий вертикальную линию (при $q_1 = q$) и является наклонной линией, когда $q_1 > q$ (случай: $q_1 < q$ по существу исключается).

Рис. 13, 24, 58 иллюстрируют сказанное.

Таблица 20

Ведомость исчисления суммарного количества вод, поступающих в озеро в результате депрессии и сработки озера при понижении его уровня в м³/с

Горизонт	От понижения уровня	5/XI—32 г.		6/XI—32 г.		9/XI 32 г.		10/XI—32 г.	
		Сраб. воды	Всего	Сраб. воды	Всего	Сраб. воды	Всего	Сраб. воды	Всего
105	3,03	0,19	3,22	0,25	3,28	0,30	3,33	0,26	3,29
115	2,84	0,52	3,36	0,53	3,37	0,66	3,50	0,57	3,41
125	2,65	0,85	3,50	0,79	3,44	1,03	3,68	0,93	3,58
135	2,46	1,20	3,66	1,07	3,53	1,38	3,84	1,20	3,66
145	2,28	1,53	3,81	1,33	3,61	1,70	3,98	1,50	3,78
154	2,12	1,85	3,97	1,55	3,67	2,02	4,14	1,91	4,03

Горизонт	От понижения уровня	13/VII—33 г.		14/VII—33 г.		15/VII—33 г.	
		Сраб. воды	Всего	Сраб. воды	Всего	Сраб. воды	Всего
105	3,03	0,16	3,19	—	—	—	—
115	2,84	0,36	3,19	0,31	3,15	0,32	3,16
125	2,65	0,60	3,25	0,53	3,18	0,58	3,23
135	2,46	0,85	3,31	0,78	3,24	0,78	3,24
145	2,28	1,10	3,38	0,98	3,26	0,97	3,25
154	2,12	1,27	3,39	1,17	3,29	1,15	3,27

На основании этой таблицы построены кривые, представляющие связь сработки и поступления воды в озеро в функции времени. В тот момент, когда при определенной интенсивности откачки устанавливается наименьший горизонт в озере, интенсивность поступления воды в озеро доходит до соответствующего максимума (при $t = \infty$).

При сокращении или при прекращении откачки имеет место восстановление уровня озера и в конечном счете установление естественного горизонта и расхода. Как было сказано выше, значения q и H можем получить, проведя касательные к кривой дебитов. Эти величины взаимно связаны. Как видно из рис. 13 и 16 при восстановлении уровня озера лимниграмма (1) должна дать свое верхнее касание с горизонтальной прямой там, где кривая расхода (4) дает свое нижнее касание с линией $q = 2,05 \text{ м}^3/\text{с.}$ и обратно, — при понижении уровня озера лимниграмма имеет свое нижнее касание с горизонтальной

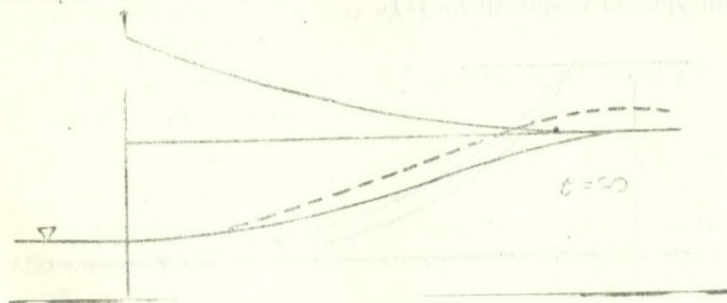


Рис. 16. Случай невозможный (пунктир), указывающий на дефект графика.

прямой там, где кривая расхода (4) имеет свое верхнее касание с прямой $q = 3,19 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом исключается положение, представленное пунктиром на рис. 16.

8. СТОК ОТ СРАБОТКИ ОЗЕРА

Выше мы имели уравнение кривой интенсивности сработки озера в функции от t

$$Q = q_1 h e^{-0,064 q_1 t}$$

Здесь Q имеет измерение $\text{м}^3/\text{с}$.

Величину стока в течение одного часа получим из формулы

$$S = \int 3600 Q dt = 3600 q_1 h \int e^{-0,064 q_1 t} dt$$

Интегрируя, получим

$$S = 56000 h (1 - e^{-0,064 q_1 t})$$

Вся площадь между $t = 0$ и $t = \infty$ будет

$$S_1 = 56.000 h (1 - 0) = 56.000 h \text{ м}^3.$$

Этот результат показывает, что сток от сработки озера не зависит от удельной интенсивности сработки озера q_1 , а зависит лишь от понижения горизонта озера до установившегося уровня h .

Иначе говоря, совершенно безразлично с какой интенсивностью при откачке понижается уровень озера. Имеет значение лишь предельный горизонт, т. е. окончательная величина понижения уровня озера (рис. 17).

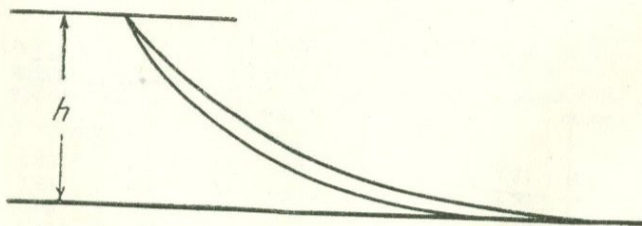


Рис. 17. Графики различной интенсивности понижения уровня озера.

Каждой кривой понижения уровня озера будет соответствовать особая кривая интенсивности сработки озера.

$$Q = q_1 h e^{-0,064 q_1 t}$$

В этом уравнении q_1 может иметь различные значения, но площадь, ограниченная соответствующей кривой и осями координат, будет одна и та же, т. е. кривые для разных значений q_1 будут пересекаться между собой, сохраняя одну и ту же площадь под собой.

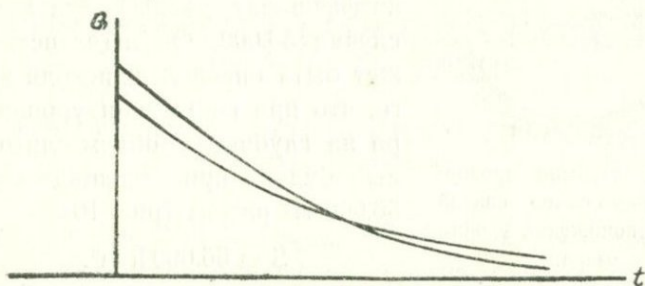


Рис. 18. График, указывающий на независимость конечной величины сработки озера от интенсивности последней.

Отметим, что та кривая интенсивности сработки, которая соответствует большему значению q_1 , будет иметь и большую начальную ординату, и касательные к этой кривой будут иметь больший наклон по сравнению с касательными к другой кривой.

Это обстоятельство будет иметь место не только для начальных частей кривых, но и на всем их протяжении, что можно доказать тем, что в пределах любых горизонтальных полос можем предположить первую кривую, проведенной с большим наклоном, чем вторую.

Указанное подтверждается и формулой наклона касательной для равных горизонтов x

$$\frac{dQ}{dt} = 0,064 q_1^2 x = 0,064 q_1 Q$$

Значение величины стока, получающегося в результате сработки озера, мы получили интегрированием уравнения кривой

$$Q = q_1 h e^{-0,064 q_1 t}$$

Тот же результат мы имели бы и при другом подходе.

Известно, что кривая понижения уровня озера является интегральной кривой для интенсивности сработки, поэтому площадь последней кривой определяется, согласно теореме Лейбница-Ньютона, разностью крайних ординат, каковая равна значению h . Поэтому

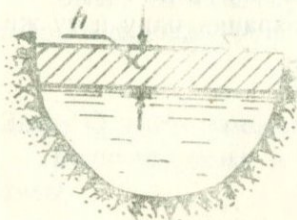


Рис. 19. Прямая пропорциональность объема слитой воды от понижения уровня озера.

где α — масштабный, переходный коэффициент, равный для данного случая 56.000. Он легче всего может быть определен, исходя из того, что при понижении уровня на глубину h объем слитой воды будет при площади озера 56.000 м² равен: (рис. 19)

$$S = 56.000 h \text{ м}^3.$$

НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ОБРАБОТКИ ПО ОЗЕРУ АЙГЕРЛИЧ

1. УЧЕТ СИЛ ИНЕРЦИИ ПРИ ПОСТУПЛЕНИИ ВОДЫ В ОЗЕРО

Из рис. 13, 24 и 58 видим, что закон поступления воды в озеро в связи с понижением его уровня графически изображается кривой линией, которая в частях, соответствующих установившимся горизонтам и расходам, приближается к прямой линии.

Если за время dt происходит увеличение интенсивности поступления воды в размере qdx (рис. 20), то ускорение, отнесенное к единице времени, примет значение $q \frac{dx}{dt}$.

но так как q измеряется в $\text{м}^3/\text{с}$, а t в часах, то эта величина, отнесенная к одной секунде, будет $\frac{qdx}{3600 dt}$. Из предыдущего известно, что $\frac{dx}{dt} = 0.064 q_1 x$, поэтому увеличение поступления воды в озеро за одну секунду будет:

$$Q' = \frac{qdx}{3.00dt} = \frac{q}{3600} \cdot 0.064 q_1 x = 18 \cdot q q_1 x 10^{-6}$$

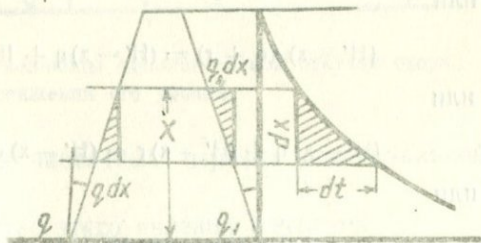


Рис. 20. График ускорения интенсивности поступления воды в озеро от понижения (или, восстановления) уровня его.

Согласно принципу Даламбера силы инерции при уравнивании вызывают дополнительную реакцию.

Следовательно, в связи с появлением сил инерции и с увеличением на этом основании удельной отдачи q на соответствующую величину падает напор.

Если обозначим увеличение удельной отдачи через r , то

$$q' = q + r.$$

Положим, что при удельной отдаче q имеем напор H , а при q' напор H' .

Тогда секундное поступление воды в озеро определится по формуле:

$$Q = (H' - x) q' \text{ м}^3/\text{с}.$$

С другой стороны, согласно предыдущему

$$Q = (H' - x) q + 18 \cdot 10^{-6} q q_1 x$$

Тогда

$$(H' - x) q' = (H' - x) q + 18 \cdot 10^{-6} q q_1 x$$

или

$$(H' - x) (q + r) = (H' - x) q + 18 \cdot 10^{-6} q_1 (q + r) x$$

или

$$(H' - x) q + (H' - x) r = (H' - x) q + 18 \cdot 10^{-6} q_1 (q + r) x$$

или

$$(H' - x) r - 18 \cdot 10^{-6} q_1 r x = 18 \cdot 10^{-6} q q_1 x,$$

откуда

$$r = \frac{18 \cdot 10^{-6} q q_1 x}{(H' - x) - 18 \cdot 10^{-6} q_1 x}$$

Из формулы следует, что r получает максимальное значение при $x = h$ и равно нулю при $x = 0$.

Это значит, что дополнительная удельная отдача от инерции падает с понижением уровня озера до нуля.

Указанное выше можно изобразить графически следующим образом (рис. 21).

Значение r определяется, пользуясь кривой АВ; при этом

$$(H' - x) q' = (H - x) q$$

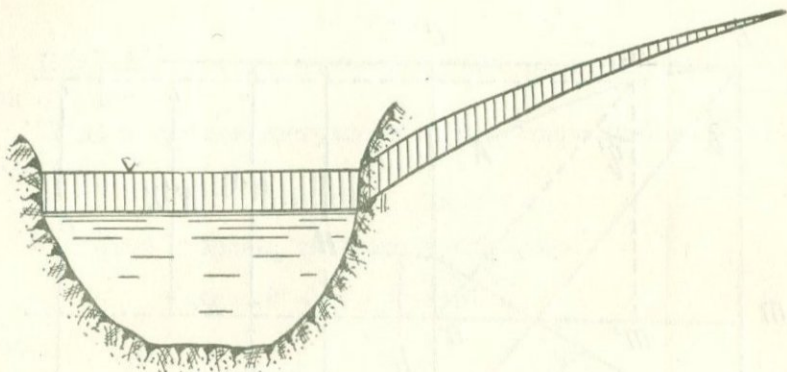


Рис. 22. Понижение депрессионной поверхности при откачках.

Последние будем называть депрессионными.

Из балансового уравнения, а также по графикам (рис. 13, 24, 58) можно определить количество депрессионных вод, отдаваемое подземным озером при откачке.

Перед пуском насосов, т. е. перед началом откачки расход воды через проток будет определяться лишь тем уровнем озера, который будет иметь место в данный момент.

Следовательно, насосами в первый момент откачиваются лишь наличные воды, а в дальнейшем — воды, получающиеся в результате сработки надземного и подземного озер.

Ниже (рис. 23) изображен схематический график расхода при постоянной откачке [A] и график переменного расхода воды через проток (между верхней кривой и прямой [A]).

Примем:

b — переменная отдача надземного озера

b' — то же подземного озера.

При отсутствии откачки вода поступает в озеро и отводится через проток с постоянным расходом а. При понижении уровня озера во время откачки поступление воды в озеро (ниж-

няя кривая) возрастает и при $t = \infty$ покрывает всю потребность в воде, т. е. расходы насосов и протока.

Верхняя часть графика до пунктирной линии представляет график отдачи подземного озера, иначе говоря, график расхода депрессионных вод. График этот—сходящийся на нет.

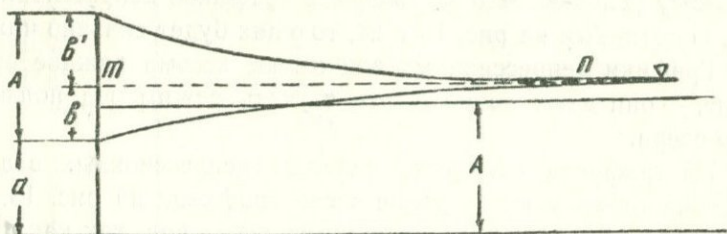


Рис. 23. График переменного расхода воды через проток при постоянной откачке.

В частном случае, когда $q_1 = q$, линия $m-n$ горизонтальна. В этом случае график отдачи подземного озера будет одинаков с графиком расхода воды через проток за вычетом конечного расхода, иначе говоря, за вычетом постоянной части расхода через проток.

В тех же случаях, когда $q_1 > q$, доля депрессионных вод меньше. Сумма вод, поступающих в озеро в связи с понижением его уровня и вод от сработки озера, больше откачиваемого количества воды, т. е. депрессионные воды составляют в этом случае лишь часть вод, проходящих через проток.

На рис. 13, 24 и 58 показано изменение расхода депрессионных вод в функции от времени (верхние части графиков) и в функции от глубин (нижние части графиков).

При установившемся горизонте озера депрессионных вод не будет, так как при этом одновременно с установлением уровня озера устанавливается также и неизменная поверхность депрессии. Депрессионные воды появляются лишь в то время, когда уровень озера понижается.

При повышении уровня озера будем иметь обратный процесс: вместо освобождения депрессионных вод имеет место расход подземных вод на заполнение новых подземных пространств, охватываемых новой, более высокой депрессионной поверхностью.

В связи с тем, что при установлении постоянного уровня озера кончается поступление депрессионных вод, график расхода последних, как было указано выше, должен быть графиком, сходящимся на нет.

На рис. 58 все графики депрессионных вод удовлетворяют этому условию. Что же касается графиков депрессионных вод, показанных на рис. 13 и 24, то о них будет сказано ниже.

Графики депрессионных вод имеют весьма важное значение, — они дают возможность изучать режим вод подземного озера.

Из графиков изменения расхода депрессионных вод в функции от времени (верхние части графиков на рис. 13, 24 и 58) можем получить стоки депрессионных вод, так как площади этих графиков представляют величины пропорциональные стокам.

Ниже в таблице 22 приводятся данные для вычисления удельных стоков депрессионных вод за разные дни. Результаты этих вычислений представлены также в виде графиков (рис. 13 и 58), привязанных к понижениям уровня озера, меняющимся при сработке его во время откачек.

Удельные стоки можно было бы исчислить и на основании других соображений.

При откачке во время понижения уровня озера имеет место расход депрессионных вод, что происходит в связи с освобождением от воды пространств между двумя депрессионными поверхностями (рис. 22).

Мысленно разрезая область депрессии концентрическими вертикальными цилиндрическими поверхностями, получим в

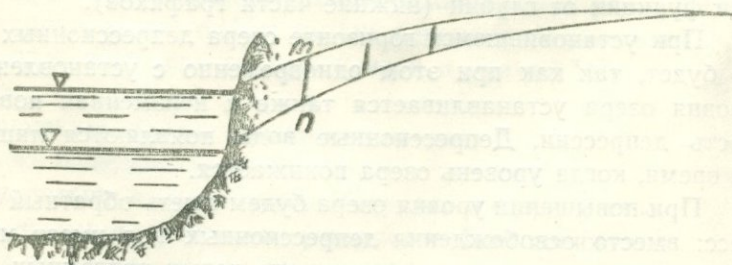


Рис. 25. Сработка депрессионных вод при понижении уровня озера.

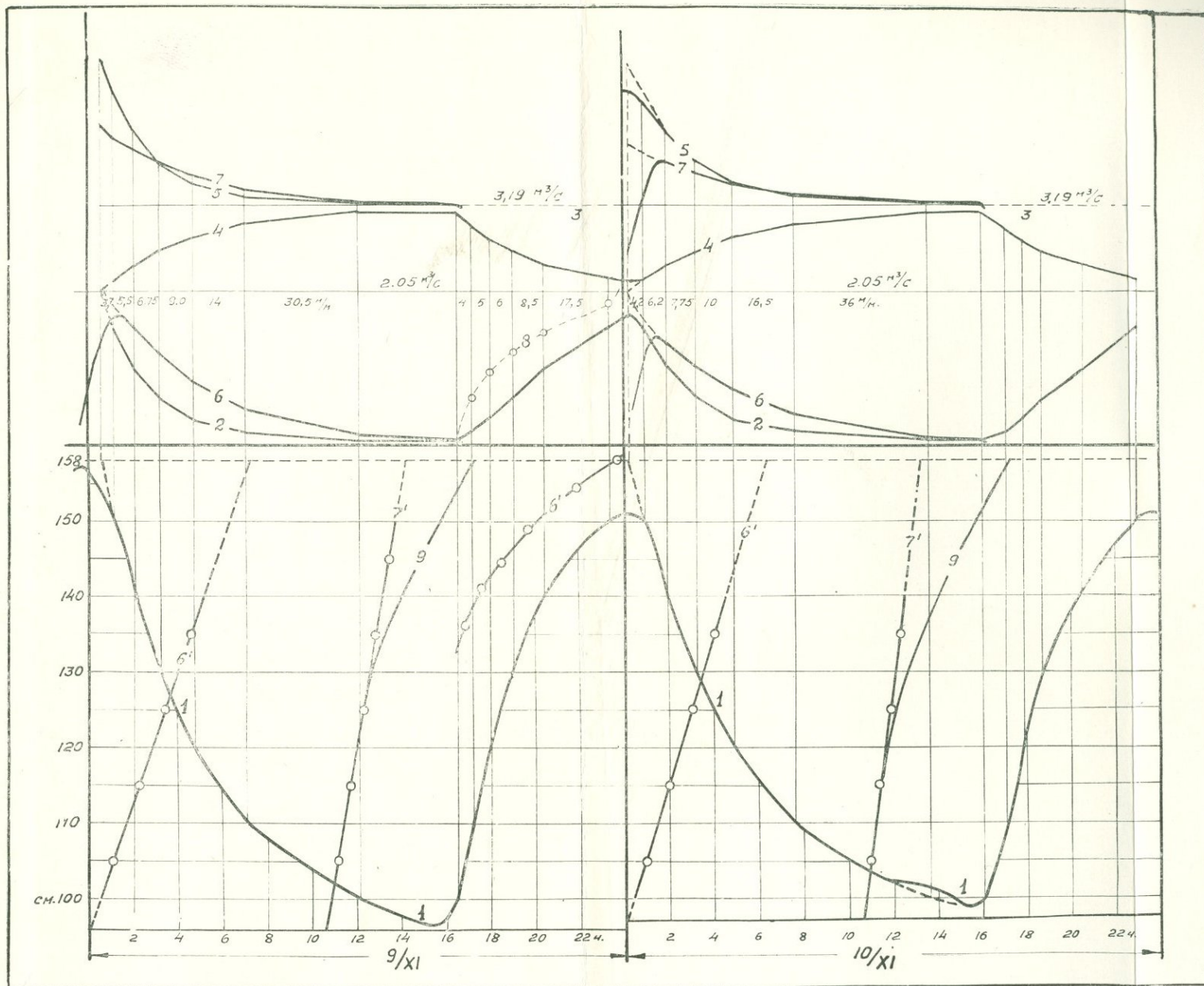


Рис. 24. Режим озера при откачках насосами 9—10 ноября 1932 г.

1. Лимниграммы.
2. Расходы через проток.
3. Постоянная часть расхода озера.
4. Поступление воды в озеро в связи с понижением его уровня.

5. Расходы через проток за вычетом постоянной части.
6. Интенсивность сработки и восстановления озера.
7. Сумма вод поступления и сработки озера.
8. Инфильтрация в берега.
9. Расходы депрессионных вод.

вертикальной проекции ряд отрезков mn , высота которых уменьшается по мере удаления от озера (рис. 25).

Эти ординаты ниже условно показаны от горизонтальной прямой, что выполнено для наглядности, а не для какого-либо практического использования (рис. 26).

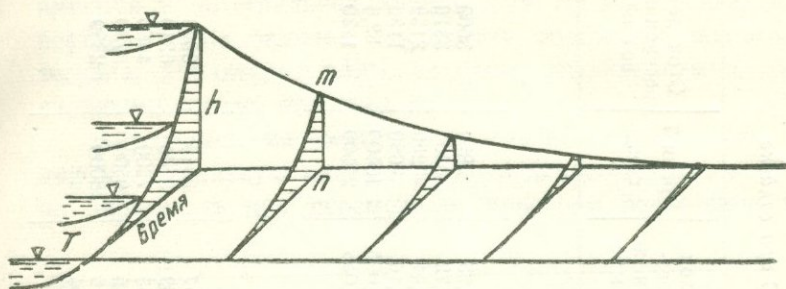


Рис. 26. График сработки депрессионных вод при естественном понижении уровня озера.

На этом же чертеже показана схема спада депрессионных поверхностей внутри водоносной породы в функции от времени.

При откачке расход депрессионных вод возрастает в сторону озера и достигает максимума у озера.

Депрессионная поверхность сопрягается у озера с его поверхностью, и кривая спада депрессионных поверхностей у озера совпадает с кривой спада уровня озера.

Кривая понижения уровня озера является интегралом для кривой интенсивности сработки надземного озера, она же является интегралом для сработки и подземного озера, т. е. для кривой расхода депрессионных вод.

Раньше мы кривую интенсивности сработки озера определяли как первую производную от кривой понижения уровня озера.

При этом имели один общий полюс интеграла. Это было правильно на том основании, что с понижением уровня озера площадь зеркала последнего не менялась, оставалась постоянной.

Что же касается интенсивности сработок подземной части озера, то ее определять не надо, т. к. ее можно взять не-

Таблица 22

Вычисление удельных стоков депрессионных вод при откачке

Гориз. см.	Расход воды при откачке м ³ /с	Расход через проток м ³ /с	Итого м ³ /с	Средн. м ³ /с	Расход от понижения и сработки м ³ /с	Расход депрес- сионных вод м ³ /с	Время Т сек.	Сток деп- рессионных вод м ³	Удельный сток деп- рессионных вод м ³
---------------	--	--	----------------------------	-----------------------------	---	--	-----------------	---	---

6 XI—1932 г.

158	3,12	2,05	5,17						
150	"	1,55	4,67	4,92	3,67	1,25	2880	3600	45000
140	"	1,03	4,15	4,41	3,62	0,79	4200	3318	33180
130	"	0,63	3,75	3,95	3,54	0,41	5250	2152	21520
120	"	0,34	3,46	3,60	3,44	0,16	7080	1133	11330
110	"	0,17	3,29	3,375	3,37	0,005	10500	52,5	525
100	"	0,08	3,20	3,245	3,30	—0,055	22500	—1230	—12300

14 VII—1933 г.

158	3,06	2,05	5,11						
150	"	1,55	4,61	4,86	3,29	1,57	3840	6028	75350
140	"	1,03	4,09	4,35	3,26	1,09	5700	6210	62100
130	"	0,63	3,69	3,89	3,24	0,65	7200	4680	46800
120	"	0,34	3,40	3,54	3,18	0,36	10500	3780	37800
110	"	0,17	3,23	3,31	3,15	0,16	18000	2880	28800
100	"	0,08	3,14	3,18	3,12	0,06	—	—	—

посредственно из графика депрессионных вод. На рис. 13, 24 и 58 дается также и интеграл этой кривой в качестве кривой изменения уровня депрессионной поверхности в концевой ее части, выражающейся кривой понижения уровня озера.

Используем то обстоятельство, что в нашем распоряжении имеются и интегральная кривая и ее первая производная, и поставим себе задачей определить положение полюсов интеграла, характеризующих размеры освобождаемых депрессионными водами пространств.

Выражаясь математически, можно сказать, что, имея дифференциальную кривую расхода депрессионных вод, можно определить при переменном полюсном расстоянии такую

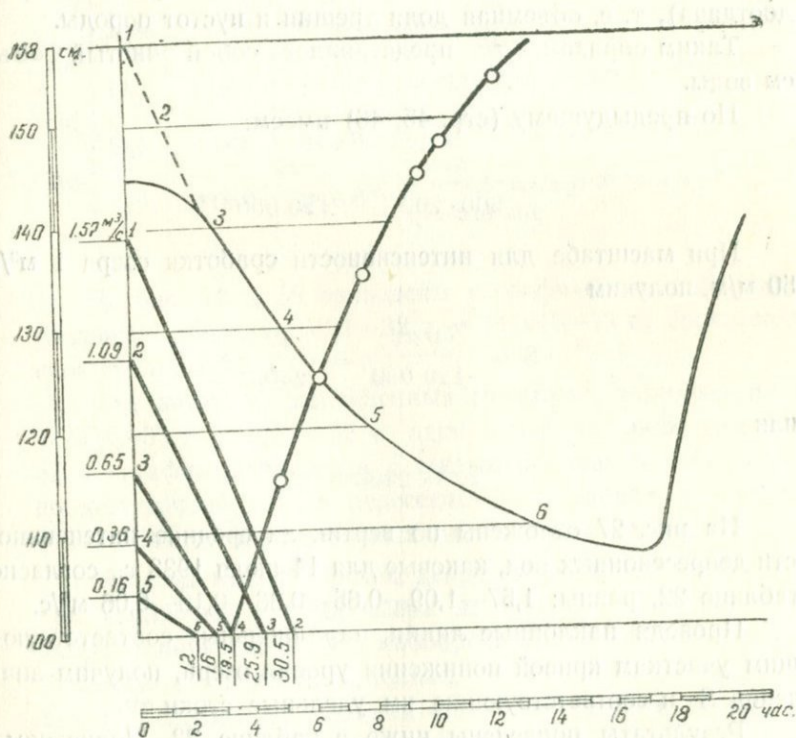


Рис. 27. Графическое определение удельных стоков депрессионных вод по методу автора.

Масштабы: глубины — 1 см. — 2 м/м
расходов — 1 м³/с — 5 м.
стоков — 1000 м³ — 1 м/м.

интегральную кривую, при которой последняя совпала бы с кривой понижения уровня озера.

При исчислении интенсивности сработки озера (см. стр. 47) для величины полюсного расстояния S имели:

$$S = 9,33 \text{ м/м}$$

Эта величина была определена для надземной части озера, причем площадь его в пределах колебаний уровня принималась постоянной, равной 56.000 м^2 .

Для подземной части озера соответствующая величина неизвестна. Положим она равна αv , где v объем освобождаемой от воды породы, α — эффективная порозность (водотдача), т. е. объемная доля трещин и пустот породы.

Таким образом, αv представляет собой чистый объем воды.

По предыдущему (стр. 45, 46) имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\alpha v}{600 \cdot 200} = \frac{\alpha v}{120.000}$$

При масштабе для интенсивности сработки озера $1 \text{ м}^3/\text{с}$ 50 м/м , получим

$$S = \frac{50 \alpha v}{120.000} = \frac{\alpha v}{2400}$$

или

$$\alpha v = 2400 S$$

На рис. 27 отложены по вертикали средние интенсивности депрессионных вод, каковые для 14 июля 1933 г., согласно таблице 22, равны: $1,57-1,09-0,65-0,36-0,16-0,06 \text{ м}^3/\text{с}$.

Проведя наклонные линии, параллельные соответствующим участкам кривой понижения уровня озера, получим значения S и соответствующие им удельные стоки αv .

Результаты приведены ниже в таблице 23. Полученные удельные стоки практически не отличаются от удельных стоков, вычисленных ранее. Некоторое несовпадение объясняется неточностью построений графика, а также неточностью исходных данных.

В таблице приведены для сравнения вычисленные ранее удельные стоки.

Таблица 23

Ведомость удельных стоков, полученных при помощи графического интегрирования кривой расходов депрессионных вод за 14/VII—1933 г.

Гориз. см.	S м/м	2400 S м ³	Удельн. сток по прежним данным	Вычисления для участков, не охваченных лимниграммами
158	30,5	73.200	73.350	$Q=2,18 \cdot 0,55=1,2$ $t=\frac{56000 \cdot 0,1}{600 \cdot 1,2}=7,77$ м/м
150	25,88	62.110	62.100	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{7,77}{20} = 0,388$; $S=78,5 \cdot 0,388=30,5$ м/м
140	19,5	46.800	46.800	$q=2,18 \cdot 0,45=0,98$; $t=\frac{56000 \cdot 0,1}{600 \cdot 0,98}=9,5$
130	16,0	38.400	37.900	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{9,5}{20} = 0,475$
120	12,0	28.800	28.800	$S=54,5 \cdot 0,475=25,88$ м/м
110				$q=2,18$ м ³ /с

На рис. 13 и 58 приведены в графическом изображении удельные стоки для 6/XI—32 г. и 14/VII—33 г., согласно данным таблицы 23.

Как видно из приведенных графиков, характер их для 14/VII—33 г. и 6/XI—32 г. один и тот же; лишь для 6/XI—32 г. график начинается с малых ординат и на некоторой промежуточной высоте пересекает ось ординат, переходя затем в область отрицательных значений расходов.

Отрицательный расход депрессионных вод означает, что при понижении уровня озера не только не освобождаются депрессионные воды, но, наоборот, подземной частью озера поглощается некоторое количество вод, направляющихся в озеро в связи с понижением его уровня. При этом нарушается и водный баланс озера (рис. 28). Так, 6/XI—32 г., 9/XI—32 г. и частично 10/XI—1932 г. приходная часть водного баланса озера в течение некоторого времени превышала расходную часть баланса (рис. 13, 14, 28).

Рассмотрим причины, которые могли бы вызвать такое явление.

Одной из причин может быть ветер. Уровень озера определяется по рейке, установленной у насосной станции.

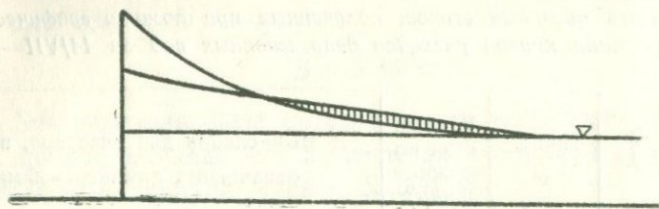


Рис. 28. Случай отрицательного расхода депрессионных вод.

Если ветер будет дуть со стороны массива Арагац, как показано стрелкой на рис. 29, то нагон воды будет в сторону протока, где уровень окажется фактически более высоким, чем это будет по показаниям рейки у насосной станции.

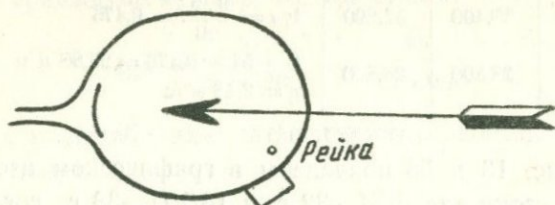


Рис. 29. Возможность неправильной документации расхода воды в протоке при ветре.

Так как расход по протоку мы определяем по горизонту воды озера, то в этом случае мы на наших графиках получим меньшие величины, чем то имеет место в действительности.

Увеличив расходы через проток, мы можем исправить водный баланс и устранить тот, возможно, кажущийся по депрессионной воде дефект, который мы имели 6—9 ноября 1932 г.

Озеро Айгерлич расположено посередине между двумя метеорологическими станциями: Эчмиадзин и Октемберян на расстоянии 10 км от каждой из них.

По наблюдениям на указанных метстанциях имеем следующие данные по скоростям ветра.

Эчмиадзин				Октемберян		
1932 г.	7 ч.	13 ч.	21 ч.	7 ч.	13 ч.	21 ч.
5/XI	SW—3	S—3	W—5	WNW—12	EN—27	—
6/XI	ENE—5	NNE—5	NW—1	NSW—1	ESE—1	—
9/XI	SE—3	SE—1	0	ESE—3	SSE—1	NNW—1
10/XI	0	0	0	0	SSE—5	WSN—5

Как видно из таблицы, ветер не мог служить причиной искажения водного баланса.

Другой возможной причиной искажения баланса могло быть изменение атмосферного давления.

Увеличение атмосферного давления в районе озера можно рассматривать как некоторый дополнительный слой воды на его поверхности.

Депрессионная поверхность грунтовой воды в условиях Айгерлица располагается на значительной глубине под землей.

Можно сделать предположение, что изменение атмосферного давления не в полной мере передается депрессионной поверхности, в связи с чем возможно предполагать наличие хотя бы небольшой неуравновешенности давления. Ввиду значительной чувствительности озера к изменениям напора, связанного с понижением уровня и влекущего за собой большие изменения удельных отдач озера, возможны ошибки при вычислении поступления вод, связанного с понижением уровня озера.

Если для 6—9 ноября 1932 г. допустить небольшое уменьшение поступления воды, то баланс озера может быстро выправиться, что позволит отказаться от предположений относительно наличия отрицательных расходов депрессионных вод.

Но, как видно из приведенных ниже данных, за рассматриваемые дни не было отмечено почти никаких колебаний в атмосферном давлении.

Эчмиадзин				Октемберян		
1932 г.	7 ч.	13 ч.	21 ч.	7 ч.	13 ч.	21 ч.
5/XI	684,8	683,7	684,7	683,2	683,7	684,6
6/XI	692,2	694,7	696,7	685,4	684,4	684,9
9/XI	693,7	692,3	692,2	684,2	683,8	683,7
10/XI	692,7	693,2	694,1	688,0	683,7	684,9

Отбрасывая эти два случая, полагаем, что возможной причиной может быть следующее.

Рассматривая график колебаний расходов озера Айгер-лич в естественных условиях, легко можно подметить наличие резких колебаний в его расходах.

Непосредственно после рассматриваемого периода, в ноябре и декабре 1932 г. горизонты и расходы озера резко увеличивались. По-видимому, в этом причина искажений в расходах депрессионных вод.

Действительно, допустим сначала, что уровень грунтовых вод равномерно поднимается.

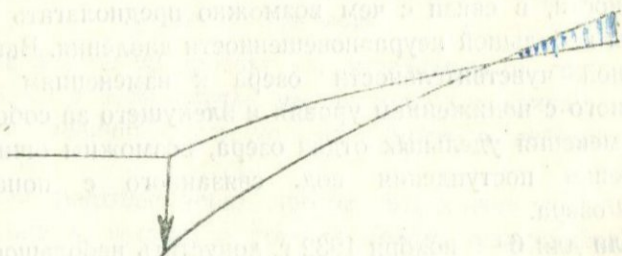


Рис. 30. Динамика депрессионной поверхности в период подъема грунтовых вод при интенсивной откачке.

Если интенсивность снижения уровня озера при откачке значительна по сравнению с подъемом уровня грунтовых вод, то схема изменения депрессионной поверхности в единицу времени будет по рисунку 30.

Как видно из схемы, несмотря на понижение уровня озера, при откачке будем иметь не сработку подземных вод, а наоборот — нарастание на дальних от озера участках.

Но в остальной значительной части депрессии все же будет иметь место сработка подземного озера и понижение депрессионной поверхности. Иначе говоря, расход депрессионных вод будет почти полным, нормальным.

Если же интенсивность понижения уровня озера будет много меньше интенсивности поднятия уровня грунтовых вод, картина будет обратная (рис. 31).

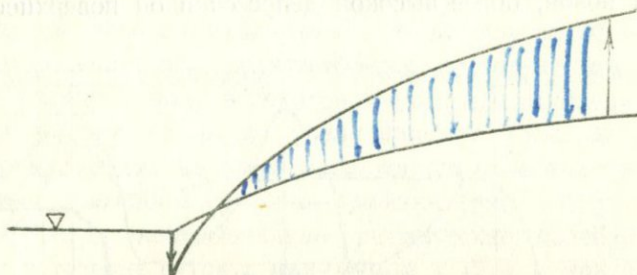


Рис. 31. Динамика депрессионной поверхности в период подъема грунтовых вод при слабой откачке.

Несмотря на понижение уровня озера, воды, направляющиеся в сторону озера, будут в основном идти на поднятие уровня депрессионной воронки, и поступление вод в озеро будет в связи с этим в ущерб.

При откачке интенсивность сработки озера вначале значительна, поэтому картина будет идентична первому из разобранных выше случаев, но с понижением уровня озера интенсивность этого понижения уменьшается весьма сильно и, наконец, доходит до нуля.

При таком освещении вопроса мы можем иметь дефицит в депрессионном расходе лишь после некоторого снижения уровня озера, что фактически и наблюдаем.

В реальных условиях уровень грунтовых вод поднимается неравномерно: имеет место появление ряда волн, растекающихся в депрессионной зоне.

Эта неравномерность поднятия уровня воды ослабляет развитие удельных стоков, ставит их в зависимость от кон-

кретных условий момента, придает им как бы индивидуальный характер, что и отражается на графиках 6 и 9 ноября 1932 г.

Если в пределах депрессионной зоны существовал бы верхний водоупор, то всякий подъем грунтовых вод привел бы к быстрому увеличению напора у озера, и в связи с этим увеличилось бы поступление воды в озеро. Но в условиях Айгерлица такого водоупорного слоя нет, поэтому энергия поднятия уровня грунтовых вод расходуется частично на заполнение в депрессионной зоне новых пространств, ограниченных новой, более высокой депрессионной поверхностью.

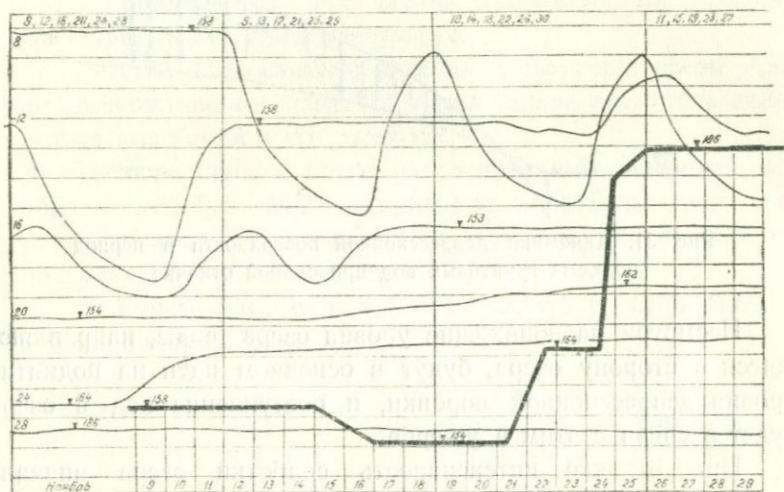


Рис. 32. Лимниграммы и график повышения уровня воды в озере за ноябрь 1932 г.

Согласно лимниграммам (рис. 32), для рассматриваемого периода имеем поднятие уровня воды в озере в естественных условиях согласно таблице 26.

Таблица указывает на то, что через 15 дней после 6—9/XI—32 г. волна грунтового потока уже дошла до озера. Значит, к 6—9 ноября 1932 г. эта волна уже действовала в пределах депрессионной зоны, имеющей радиус в 3—4 км.

6—9 ноября и в последующие ближайшие дни подземные

Дата	Горизонт см.	Дата	Горизонт см.
8/XI—32 г.	158	25/XI—32 г.	186
13/XI—32 г.	158	1/XII—32 г.	186
21/XI—32 г.	154	10/XII—32 г.	186
22/XI—32 г.	162	20/XII—32 г.	188
24/XI—32 г.	164	31/XII—32 г.	188

воды не поступали полностью в озеро, а частично шли на поднятие депрессионной поверхности.

Затронув вопрос о движении волн в подземном потоке, мы считаем необходимым указать и на другое обстоятельство. Озеро Айгерлич характеризуется не только тем, что в связи с наличием волн в грунтовом потоке поступление воды в озеро временами резко увеличивается (рис. 32), но и тем, что временами на озере наблюдается пульсация уровней.

Ниже приведены суточные графики (рис. 33) уровней в январе 1942 г., показывающие ритмические колебания последних в течение суток с минимумом в 12 ч. и максимумом в 24 ч. Эти колебания зарождаются, по-видимому, весьма не далеко от озера. В дни наблюдений и в предыдущие недели на низких отметках бассейна озера дневные температуры были высокие и снег таял, ночью же бывало морозно и таяние прекращалось.

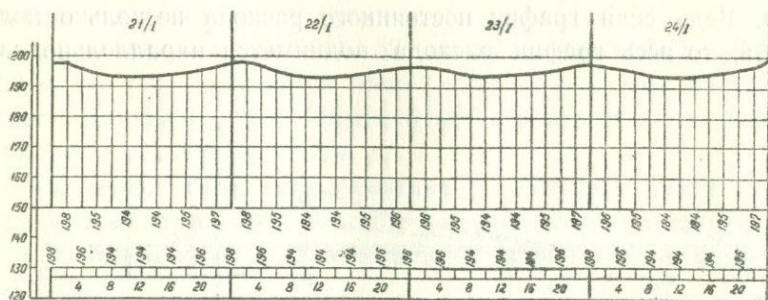


Рис. 33. Суточная пульсация горизонтов оз. Айгерлич, записанная в январе 1942 г. Отметка нуля рейки 842,475 м

Только этим обстоятельством можно объяснить пульсацию уровней и расходов. По данным наблюдений колебания расходов достигали до $0,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Трудно предположить, что правильная суточная пульсация объясняется зимними условиями на удаленных от озера участках и к тому же за прошлые годы.

На лимниграммах 1932 г. и 1934 г. во все зимние месяцы график уровней был ровным за исключением 30 и 31 декабря 1934 года, когда лимниграф отметил только одну волну. Видимо, температурные условия декабря—января 1932 и 1934 гг. не благоприятствовали пульсации. Среднемесячная температура в декабре 1932 г. в Октемберяне была -10° , а в 1934 г. $-0,8^{\circ}$.

Сравнение графиков удельных стоков 14/VII—33 г. и 6/XI—32 г. показывает (см. табл. 22), что максимальная ордината (при $h = 154$ см.) — в первом случае определяется цифрой в 75.350 м^3 , а во втором—в 45.000 м^3 , т. е. в первом случае на 30.350 м^3 больше. Если график для 6/XI—32 г. сдвинуть так, чтобы увеличить ординату на эту величину, то соответствующая нижняя ордината графика ($h = 105$) получит значение

$$30.350 - 12.300 = 18.050 \text{ м}^3$$

т. е. весьма близкое к 21.000 м^3 , какое имеем в первом случае.

Невольно возникает мысль,— не получился ли график удельных стоков для 6/XI—32 г. потому ущербным, что мы, возможно, не точно определяем количество откачиваемой воды. Ведь если график постоянного расхода несколько поднять, то весь график расхода поднимется параллельно са-

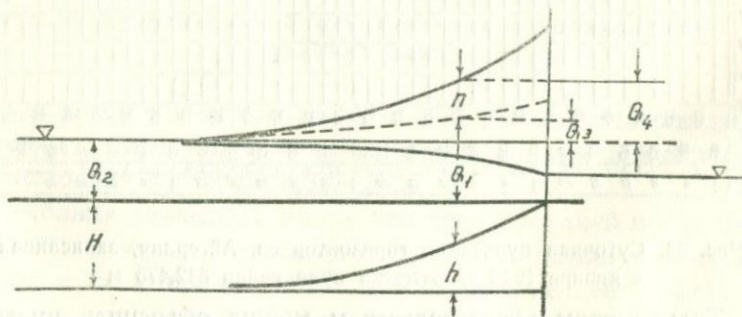


Рис. 34. К расчету удельных стоков для 6/XI—32 г.

мому себе и не будет пересекаться с приходной частью графика. При этом условия 6/XI—32 г. станут одинаковыми с условиями, имевшими место 14/VII—1933 г.

Рассмотрим вероятность сделанного предположения.

Для любого горизонта имеем (рис. 34)

$$Q = q(H - h) + q_1 h = qH + (q_1 - q)h$$

Для установившегося горизонта $h = 0$, поэтому $Q_2 = qH$.

На схеме проведена горизонтальная линия, соответствующая постоянной части расхода Q_2

Примем

$$Q_3 = (q_1 - q)h$$

Обозначив расход протока через Q_4 для любого горизонта, имеем

$$n = Q_4 - (q_1 - q)h$$

Если n величина отрицательная, то имеем случай, подобный случаю 6/XI—32 г., т. е. превышение приходной части баланса над расходной.

Как видно из последнего равенства, величина n зависит, во-первых, от графика расхода через проток (что в свою очередь находится в зависимости лишь от уровня воды озера, фиксируемого лимниграммой), и, во-вторых, от значений q и q_1 . Иначе говоря, n не зависит прямым образом от размера откачки и от постоянной доли отдачи озера.

Сравнивая условия 6/XI—32 г. с условиями 14/VII—33 г., видим, что они отличаются лишь значением q_1 . Чем больше будет величина q_1 , тем больше будет вероятность получения отрицательных значений для n .

Но может быть само значение q_1 обуславливается размерами откачки и таким образом и отрицательное n получается в конечном итоге в зависимости от количества откачиваемой воды.

Но это предположение не подтверждается рассмотренными нами случаями. Действительно, и 6/XI—32 г., и 14/XII—33 г., и в другие рассмотренные нами дни естественный горизонт и расход озера не менялись, причем работало неизменно не только одно и то же число насосов, но и одни и те же на-

сосы. Конечно, при этом хотя и возможны некоторые вариации в производительности насосов в зависимости от колебаний напряжения тока, но эти вариации вообще незначительны и лежат в пределах 5—7%; между тем колебания величины $(q_1 - q)n$ значительно больше в связи с тем, что значение q_1 в рассмотренные нами дни колебалось от 3,3 м³/с до 2,13 м³/с, при одном и том же значении $q = 2,0$ м³/с.

Таким образом, возможные в принципе колебания расходов при откачках не устраняют возможности существования случаев с отрицательным n , а следовательно, и существования графиков удельных стоков, подобных графику 6 ноября 1932 г.

Депрессионные воды имеют природу, отличную от таковой для вод, поступающих в озеро в связи с понижением его уровня.

Слой депрессионной воды как бы налегает на установившуюся депрессионную поверхность.

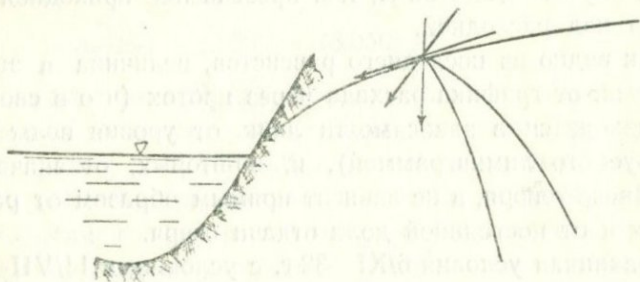


Рис. 35. Схема вертикального перемещения вод в депрессионной зоне при откачках.

Природа депрессионных вод представляется в следующем виде. При понижении уровня озера во время откачки депрессионная поверхность непрерывно понижается. В связи с этим депрессионные воды, участвующие в общем потоке подземных вод, приобретают дополнительную вертикальную составляющую скорости, величина которой находится в зависимости от интенсивности опускания.

Отклонение направления струй сопровождается соответственным отклонением перпендикулярных к ним эквипотенци-

альных линий при одновременном их отодвигании от озера (рис. 35). (При восстановлении уровня озера — обратный процесс). Это отодвигание обязательно потому, что отклонение их в сторону озера приближает эквипотенциали к озеру, следовательно, уменьшает поступление воды в озеро, чего не должно быть.

Надо заметить, что при переходе от одного установившегося горизонта озера к другому более низкому, эквипотенциали перемещаются от озера в сторону, иначе они не могли бы обеспечить поступление в озеро увеличенного количества вод.

В связи с отклонением эквипотенциалей кривая депрессии не может остаться в прежнем положении и примет более крутое очертание, перпендикулярное к эквипотенциалам в новом их положении (рис. 36).

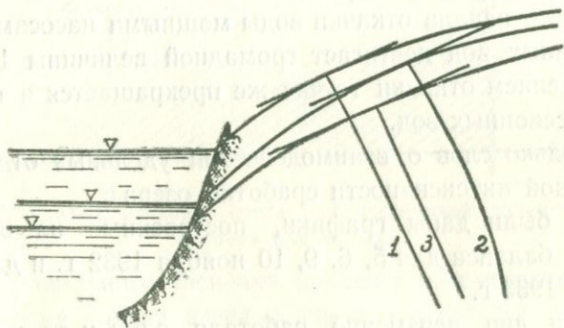


Рис. 36. Динамика эквипотенциалей при откачках.

Так как скорость потока равна

$$V = K \frac{dv}{ds}.$$

то отмеченное обстоятельство поведет за собой увеличение скоростей вдоль рассматриваемой эквипотенциальной линии или, иначе говоря, — к перемещению эквипотенциалей от озера.

Этот процесс будет, как сказано было выше, зависеть от интенсивности опускания уровня озера; с приближением последнего к установившемуся горизонту процесс будет ослаб-

ляться и депрессионная кривая будет приближаться к условиям, обычным для установившихся горизонтов.

При этом надо считать, что депрессионные воды не стекают по депрессионной поверхности, а направляются по линиям тока, соединяясь с общей массой грунтового потока, охватывая его в целом. Депрессионные воды, хотя и зарождаются лишь при спаде уровня, но не выделяются из общей массы грунтовых вод. Путь их в сторону озера не самостоятельный.

Здесь имеет место перераспределение скоростей в общей массе, создаваемое депрессионными водами.

Этим объясняется та чрезвычайная подвижность, которую имеют депрессионные воды, и те значительные расходы, которые они, как мы видели выше, способны влить в озеро при резких понижениях его уровня.

С самого начала откачки воды мощными насосами расход депрессионных вод достигает громадной величины 1—2 м³/с; с прекращением откачки тотчас же прекращается и поступление депрессионных вод.

Несколько слов о взаимодействии удельных отдач озера q и удельной интенсивности сработки озера q_1 .

Нами были даны графики, построенные на основании уравнений баланса для 5, 6, 9, 10 ноября 1932 г. и для 13, 14 и 15 июля 1933 г.

За эти дни неизменно работали одни и те же насосы №№ 1, 3, 4 и 5.

Естественный горизонт озера был один и тот же, именно 158 см, и отдача озера в естественных условиях — 2,05 м³/с.

Но при всем этом интенсивность сработки озера была различная. Величина q_1 имела значения, приведенные в таблице 27.

Таблица 27

Дата	q_1	Дата	q_1
5 XI—32	3,36	13/VII—33	2,30
6/XI—.	2,88	14/VII—.	2,18
9/XI—.	3,50	15/VII—.	2,13
10/XI—.	3,12		

Чем больше q_1 , тем интенсивнее срабатывается озеро при откачке.

Из графиков рис. 13, 24 и 58 следует, что доля депрессионных вод больше тогда, когда величина q близка к величине q (14 и 15 июля 1933 г.); доля депрессионных вод меньше тогда, когда $q_1 > q$; при этом сумма вод от снижения уровня и вод от сработки озера превосходит постоянную часть отдачи озера, т. е. часть вод, поступающих в озеро от снижения его уровня и вод от сработки озера, уходит в проток (рис. 37).

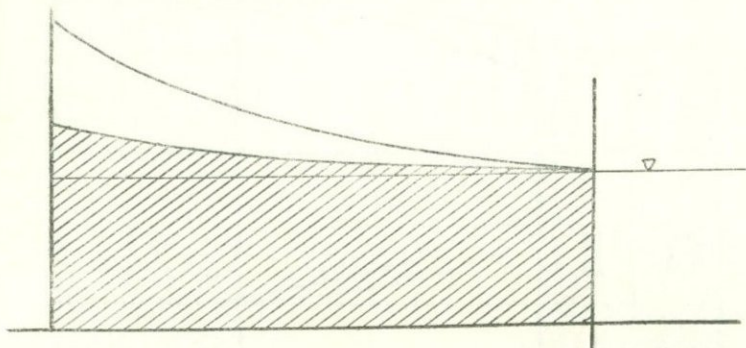


Рис. 37. График расходов озера при постоянной интенсивности откачки при $q_1 > q$.

Для правильного уяснения процесса рассмотрим два случая понижения уровня озера, когда $q_1 = q$ и $q > q$.

Высокое значение q_1 получается тогда, когда депрессионные воды в меньшей степени участвуют в общем расходе.

При этом, ввиду малого участия депрессионных вод, образующийся недостаток воды покрывается частью за счет более интенсивной сработки озера (полный сток за все время снижения уровня при всех значениях q_1 , величина постоянная), частью же за счет вод, поступающих в озеро в связи с понижением его уровня, которые хотя и имеют одинаковую интенсивность при одних и тех же горизонтах, но, в связи с интенсивной сработкой озера, ординаты графика вод поступления сдвигаются влево, и потому получается повышенный сток (на рис. 38 заштрихованная площадь).

Причины различного участия депрессионных вод могут быть объяснены следующим образом.

Озеро Айгерлич находится на пути мощного потока грунтовых вод, являющегося одновременно источником питания и озера Айгерлич и истоков р. Севджур.

При больших расходах р. Севджур пьезометрический уклон грунтового потока больше, а при малых расходах меньше.

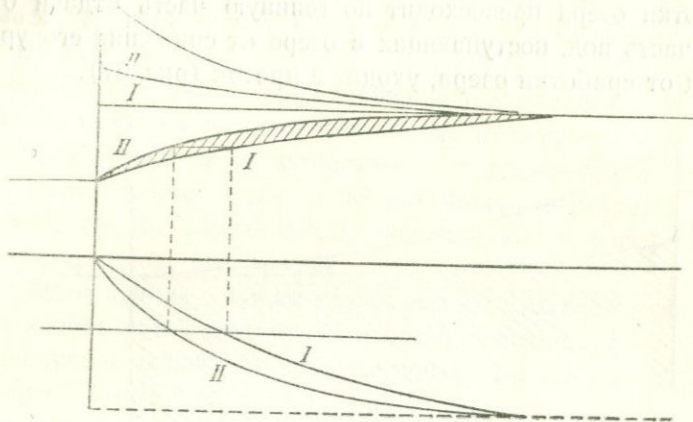


Рис. 38. Графики понижения уровня озера для случаев: $q_1=q$ и $q_1>q$.

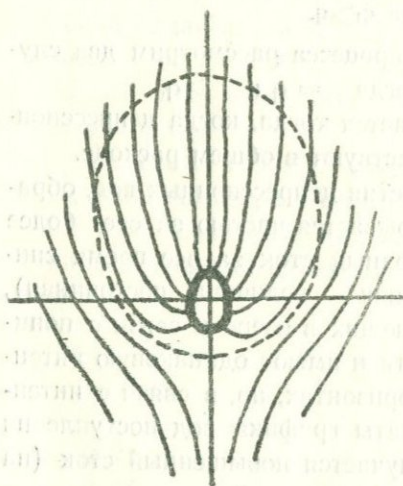


Рис. 39. Эксцентричное расположение озера в пределах воронки депрессии.

В связи с этим меняются и условия образования депрессионных воронок Айгерлича.

При наличии значительных скоростей грунтового потока озеро занимает в плане в пределах воронки депрессии эксцентричное положение и тем в большей степени, чем больше общий уклон потока (рис. 39).

Это обстоятельство вызывается тем, что имеет место отвлечение струй от воронки депрессии, что в свою очередь вызывает сокращение области, питающей озеро.

При данном пьезометрическом уклоне количество вод, выпадающих в озеро, зависит именно от ширины области, питающей озеро, а не от ее длины.

Указанные обстоятельства, связанные с повышением пьезометрического уклона грунтового потока, вызывают уменьшение объема депрессионной воронки.

Ниже приводим графики расходов р. Севджур по постам Эчмиадзин и Айгерлич (рис. 40). Графики показывают, что в

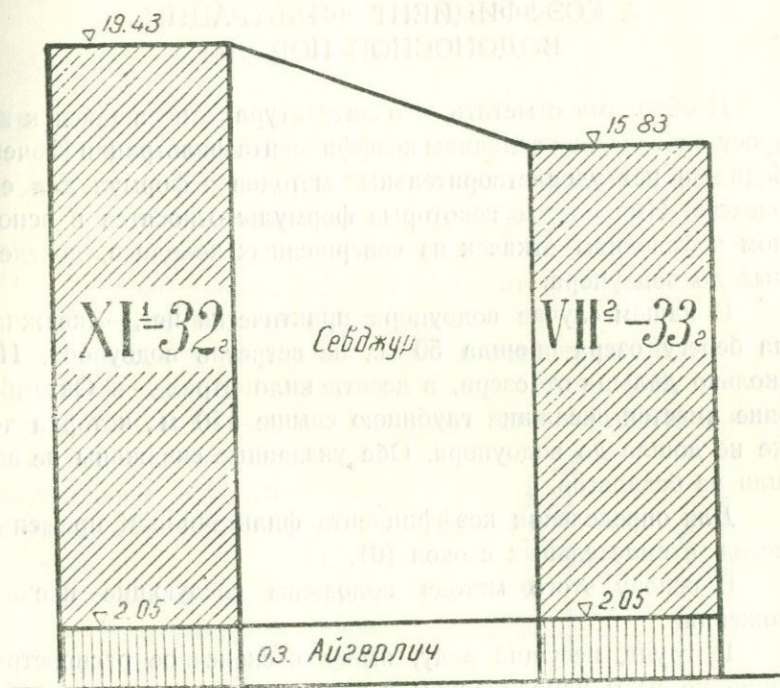


Рис. 40. График расходов в м³/с оз. Айгерлич и р. Севджур в первой декаде ноября 1932 г. и во второй декаде июля 1933 г.

ноябре 1932 г. и в июле 1933 г. оз. Айгерлич отдавало одно и то же количество воды, но р. Севджур в ноябре 1932 г. имела расходы значительно больше тех, которые имели место в июле 1933 г.

Следовательно, пьезометрический уклон в ноябре 1932 г. был больше, чем в июле 1933 г.

На основании предыдущего мы должны были иметь в

ноябре 1932 г. меньше депрессионных вод, чем в июле 1933 г.

Наши графики подтверждают это; в ноябре мы имели на нижних участках кривой понижения уровня озера отрицательное количество депрессионных вод, чего не было в июле 33 г.

Помимо этого, по той же причине все ординаты графика депрессионных расходов и удельных стоков в июле 1933 года больше таковых для ноября 1932 г.

3. КОЭФФИЦИЕНТ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДОНОСНОЙ ПОРОДЫ

Необходимо отметить, что литература, относящаяся к вопросу определения величины коэффициента фильтрации K очень бедна, и нет удовлетворительных методов и формул для его расчета. Имеющиеся некоторые формулы относятся в основном к условиям откачек из совершенных колодцев, доведенных до водоупора.

В нашем случае водоупора практически нет,— скважина на берегу озера прошла 50 м., не встретив водоупора. Несколько дальше от озера, в десяти километрах — в Октябре имеется скважина глубиной свыше 170 м., которая тоже не дошла до водоупора. Обе указанные скважины не вышли из базальтов.

Для определения коэффициента фильтрации K применим метод отрицательных стоков (6).

В основу этого метода положены следующие предположения:

- 1) грунт, несущий воду, имеет бесконечное распространение по всем направлениям и вполне однороден;
- 2) в грунте уже установилось стационарное движение воды.

Будем отмерять уровень грунтовых вод от той поверхности, которая соответствует отсутствию какой-либо депрессии. Обозначим уровень, отмеряемый от этой (нулевой) поверхности, буквой p .

В том случае, когда в какую-либо часть грунта не происходит никакого поступления воды, имеет силу известное уравнение Лапласа: $p = 0$

Положим, что в какой-либо точке грунта имеется элемент всасывания (стока), которым мы из грунта забираем определенное количество воды.

В результате этого первоначальный уровень грунтовой воды опустится на некоторую величину p .

Это новое состояние во всей области грунта, за исключением самой точки всасывания, также должно удовлетворять уравнению Лапласа, т. е.

$$p = - \frac{Q}{4\pi k r},$$

где

Q — интенсивность всасывания, т. е. то количество воды, которое притекает извне с каждой шаровой поверхности, имеющей центр на той же вертикали, а в точке $p = 0$ — исчезает.

r — расстояние заданной точки от точки всасывания.

k — коэффициент фильтрации.

Положим в дальнейшем, что вместо единственного элемента всасывания (стока) имеем ряд стоков, густо расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга и имеющих одинаковые расходы. В дальнейшем этот ряд будем называть «однородным рядом стоков».

Определим получающееся при этом приращение уровня.

Положим, что прямая AB длиной $2a$ изображает ряд стоков с расходом q в единицу времени на единице длины; точка C — есть заданная точка, в которой должна быть определена величина приращения p (рис. 41).

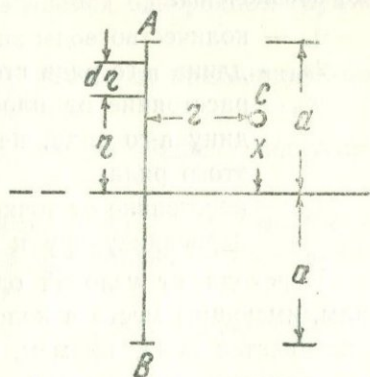


Рис. 41. К расчету коэффициента фильтрации по методу отрицательных стоков.

Приращение к дополнительной высоте поднятия уровня в точке C в размере отрезка η — при расстоянии уровня η от середины будет равно

$$dp = - \frac{q d\eta}{4\pi k \sqrt{r^2 + (\eta - x)^2}}$$

и следовательно, общая дополнительная высота уровня в точке С будет:

$$p = \frac{q}{4\pi k} \int_{-a}^{+a} \frac{d\eta}{\sqrt{r^2 + (\eta - x)^2}}$$

Делая подстановку $Z = \eta - x$ и произведя интегрирование, получим:

$$p = \frac{q_n}{4\pi k} \ln \frac{-a - x + \sqrt{r^2 + (a - x)^2}}{+a - x + \sqrt{r^2 + (a - x)^2}}$$

Возьмем вместо одного-единственного однородного ряда стоков (отрицательных источников) N таких же рядов.

При этом дополнительная высота поднятия будет:

$$p = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{q_n}{4\pi k} \ln \frac{-a_n - x_n + \sqrt{r_n^2 + (a_n + x_n)^2}}{+a_n - x_n + \sqrt{r_n^2 + (a_n - x_n)^2}}$$

где обозначены:

q_n — количество воды за единицу времени и длины ряда;

$2a_n$ — длина n-го ряда стоков;

x_n — расстояние от плоскости, проходящей через середину n-го ряда, перпендикулярной к направлению этого ряда;

r_n — расстояние от точки С до n-го ряда, измеренное по перпендикуляру к этому ряду.

Переходя от условий однородного ряда стоков к условиям, имеющим место в колодце или в водоеме, из которого откачивается вода, примем, что при $r = c$, радиусу колодца или водоема результирующая высота поднятия p должна быть постоянной.

Исследуем изменение значения p в зависимости от значения x , считая величину x в пределах ряда, т. е. когда $a > x > -a$.

При этом из предыдущего уравнения получим

$$\rho = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{-a - x + \sqrt{c^2 + (a + x)^2}}{a - x + \sqrt{c^2 + (a - x)^2}}$$

Дополнительная высота поднятия в середине ряда стоков, т. е. при $x = 0$, получится

$$\rho_n = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{-a + \sqrt{c^2 + a^2}}{+a + \sqrt{c^2 + a^2}}$$

Далее, исследуя вопрос изменения водности по высоте ряда стоков, отмечаем, что изменения ρ вдоль однородного ряда стоков незначительны, за исключением концевых частей ряда, где отмечается уменьшение абсолютных значений ρ .

Уточняя приведенные формулы для наших условий, приходим к выводу, что с практической точки зрения вполне возможно пользоваться для колодцев и водоемов приведенными выше формулами, выведенными для однородных стоков.

В подтверждение последнего отметим, что разница в результатах, получаемых для однородного ряда стоков и для колодца или водоема значительно ниже той неточности, которая имеет место в отношении, например, коэффициента фильтрации, который колеблется в кажущемся однородном грунте в больших пределах.

Переходя к нашему случаю, исчислим предварительно величины необходимых нам показателей.

Озеро представляет в нашем случае водоем радиусом в 150 м.

Максимальная глубина его доходит до 9,4 м. Дно озера занесено илом, и поэтому здесь, в центральной части озера, выходов родниковых вод почти нет.

Считаем возможным принять за эффективную глубину озера его среднюю глубину.

При горизонте озера $h = 1.89 \div 1.90$ м., площадь зеркала озера равна 61,160 м², а объем 254.850 м³.

Тогда средняя глубина будет

$$h_{cp} = \frac{254 \cdot 850}{61 \cdot 160} = 4.2 \text{ м.}$$

Прибавляя сюда понижение естественного уровня и считая это понижение от расчетного нулевого горизонта, каковой определяется проведением касательной к кривой $Q = f(H)$ на высоте естественного уровня озера, получим

$$h_1 = 2,57 - 1,90 = 0,67 \text{ м.} \approx 0,7 \text{ м.}$$

Расчетная глубина озера

$$h = 4,2 + 0,7 = 4,9 \text{ м.}$$

Отдачу озера примем по данным 14/VII—33 г. Как известно, при горизонте озера 1,0 м.—отдача его была равна—3,14 м³/с, а при горизонте 1,58 м. — она равна 2,05 м³/с. Местные условия таковы, что депрессия возможна лишь на одной половине озера.

В этих условиях поступают в озеро указанные выше количества воды — 3,14 м³/с и 2,05 м³/с.

При том же понижении озера, в случае если бы депрессионная воронка окольцевала бы озеро со всех сторон, мы имели бы двойное количество воды.

Теперь вычислим величины коэффициента фильтрации, пользуясь приведенной выше формулой

$$\rho = \frac{q}{4\pi k} \ln \frac{-a + \sqrt{c^2 + a^2}}{+a + \sqrt{c^2 + a^2}}$$

в нашем случае

$$2a = 4,9 \text{ м.}$$

$$c = 150 \text{ м.}$$

$$Q = 3,14 \times 2 = 6,28 \text{ м}^3/\text{с} \quad q = \frac{Q}{2a} = \frac{6,28}{4,9} = 1,28$$

$$\rho = 2,57 - 1,00 = 1,57 \text{ м.}$$

$$\begin{aligned} 1,57 &= \frac{1,28}{4\pi k} \ln \frac{-2,45 + \sqrt{150^2 + 2,45^2}}{+2,45 + \sqrt{150^2 + 2,45^2}} = \\ &= \frac{1,28}{4\pi k} \ln \frac{-2,45 + 150}{+2,45 + 150} = \frac{1,28}{4\pi k} \ln 0,967 = \frac{1,28}{4\pi k} \cdot 0,034 \end{aligned}$$

или

$$K = \frac{0,034 \cdot 1,28}{4\pi \cdot 1,57} = 0,00221 \text{ м}^3/\text{с} = 191 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Если вычислять величину K для расхода $2,05 \text{ м}^3/\text{с}$ при $h = 1,58 \text{ м}$, $2a = 4,2 + (2,79 - 1,90) = 5,09 \text{ м}$.

$\rho = 2,75 - 1,58 = 1,17 \text{ м}$. получим

$$K = \frac{0,035 \cdot 2 \cdot 2,05}{4\pi \cdot 1,17 \cdot 4,9} = 0,002 \text{ м}^3/\text{сек.} = 173 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Это подтверждает ранее высказанную мысль о сравнительно меньшей средней водопроницаемости верхних слоев.

Для несовершенных колодцев К. И. Добровольский предложил свою формулу. Принимая условно, что граница активной зоны располагается по кривой, симметричной депрессионной линии (рис. 42), он исчисляет коэффициент фильтрации по формуле Дарси-Дюпюи для совершенных колодцев, при-

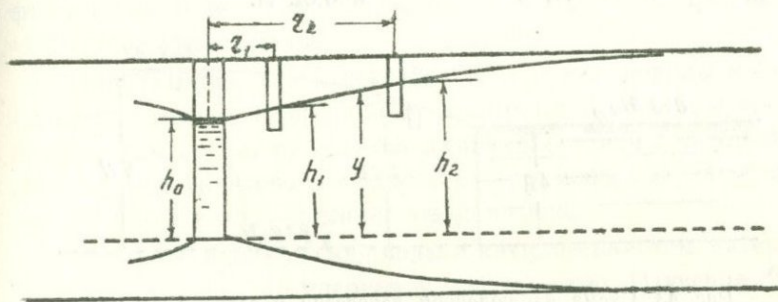


Рис. 42. К расчету коэффициента фильтрации по методу К. И. Добровольского.

нимая при этом те же упрощающие задачу допущения, которые принял Дюпюи, а именно, что эквипотенциальные кривые располагаются по вертикальным цилиндрическим поверхностям и что вместо $i = \frac{ay}{ds}$ можно принять $i = \frac{dy}{dx}$.

При этих условиях дифференциальное уравнение движения будет иметь вид

$$Q = 2\pi K (2y - h_0) \frac{dy}{dr},$$

интегрируя и принимая граничные условия по данным двух шурфов, получим:

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi k}{Q} \left[2 \int_{h_1}^{h_2} y dy - h_0 \int_{h_1}^{h_2} dy \right]$$

отсюда

$$K = \frac{Q}{2\pi} \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{(h_2 - h_1)(h_2 + h_1 - h_0)}$$

В нашем случае $r_1 = 150 + 7 = 157$ м.

$r_2 = 150 + 175 = 325$ м.

имеем (рис. 43)

горизонт озера — 843,91 м.

» в шурфе № 1 — 844,34 м.

» » № 2 — 845,82 м.

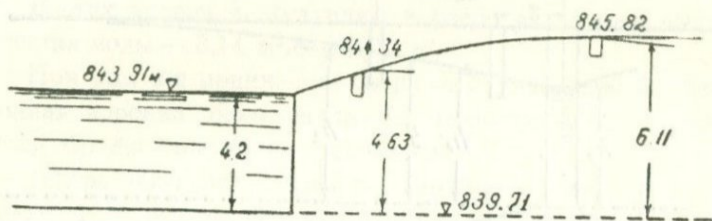


Рис. 43. Схема наблюдаемой депрессии у озера Айгерлич.

По-прежнему удваивая расход для охвата озера депрессией по всему периметру, получим

$$K = \frac{6,28}{2\pi} \frac{\ln \frac{325}{150}}{(6,11 - 4,63)(6,11 + 4,63 - 4,20)} = \frac{6,28}{2\pi} \cdot \frac{0,73}{9,68} = 0,075 \text{ м}^3/\text{сек.} = 6480 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Получилось значение K , весьма отличное от полученного ранее, что можно объяснить тем, что в условиях Айгерлича нельзя считать эквипотенциальные поверхности цилиндрическими, и, кроме того, поступление воды в озеро здесь охватывает более значительные зоны, чем то предусмотрено формулой K . И. Добровольского.

Осмотр береговой полосы озера показывает, что она сложена в основном сильно ошлакованными андезито-базальта-

ми с большим количеством хряща. В этом отношении особенно резко выделяется восточная сторона.

Крупно-глыбистые андезито-базальты полосой перерезают ошлакованные породы, и здесь, из-под глыб, выступают крупные родники (Консервтреста) с дебитом 210 л/с.

Ошлакованные андезито-базальты и хрящи слагают не только береговую видимую полосу, они характерны для геологического разреза, охватывающего большие глубины: скважина (рис. 84), пробуренная колонковым бурением на берегу озера на глубину 50 м., дала кернов меньше 50%, что указывает на сильную разрушенность андезито-базальтов.

Таким образом, величины, получаемые для коэффициента фильтрации K по первой формуле, не находятся в противоречии с геологией района.

Данная выше характеристика водоносной породы и относительно высокий коэффициент фильтрации могут вызвать вопрос, имеем ли мы тут случай ламинарного или турбулентного движения грунтового потока, т. к. примененные нами формулы имеют в виду ламинарное движение.

Изучение продвижения воды в крупнозернистом материале было произведено впервые у нас в Союзе. Изучение было проведено в бывшей гидротехнической лаборатории Ленинградского гидротехнического института энергоцентра С. В. Избашем под руководством ак. Н. Н. Павловского еще в 1930—31 гг.

Работы эти имеют чрезвычайно важное значение, т. к. на их основании установлены законы движения грунтовых вод в крупнозернистом материале.

Анализ показал, что наши грунты имеют коэффициент фильтрации, соответствующий однородной среде фракций округлой формы диаметром около 0,2 см. и что если определять коэффициент фильтрации из формулы

$$v = K i^{\frac{1}{m}},$$

то для песков с диаметром фракций 0,01—0,2 см. во всяком случае обеспечивается ламинарный режим в пределах градиентов

$$0,003 < i < 1,80$$

Для этих пределов показатель степени $m \approx 1$, а коэффициент фильтрации K можно принять практически постоянным. (Известия Научно-исследовательского Института Гидротехники 1931 г., том X).

В нашем случае отдача озера Айгерлич колеблется в пределах от 2 м³/с до 5 м³/с (не считая вод от сработки самого озера). Площадь, в пределах которой происходит выход воды, определяется величиной в среднем в

$$4,2 \times 500 = 2100 \text{ м}^2.$$

Средняя скорость поступления воды будет при $Q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$v = \frac{2,0}{2100} = 0,001 \text{ м/сек.},$$

$$\text{а при } Q = 5 \text{ м}^3/\text{с. } v = \frac{5}{2100} = 0,0025 \text{ м/сек}$$

Поэтому величина i может быть исчислена по формуле

$$\text{при } Q = 2 \text{ м}^3/\text{с. } i = \frac{0,001}{0,002} = 0,5$$

$$\text{при } Q = 5 \text{ м}^3/\text{с. } i = \frac{0,0025}{0,0022} = 1,13$$

Приведенное показывает, что для Айгерлича условия ламинарного движения обеспечены.

4. КРИВАЯ ДЕПРЕССИИ

Первоначально намечалось получить, помимо прочих данных, параметры кривой депрессии путем закладки в 1,5—2 км. от озера глубоких шурфов до депрессионной поверхности. Но по условиям того времени пришлось от этого отказаться.

Взамен глубоких шурфов были заложены всего два неглубоких шурфа: один на расстоянии 7 метров, другой на расстоянии 175 м., считая в обоих случаях от уреза воды озера. Глубина первого шурфа была около 1—1,5 м., а второго 4,5—5,0 м., еще один шурф был заложен в Куругеле на дне

глубокой кратерообразной котловины, расположенной на расстоянии 700 м. от берега озера. Глубина этого шурфа была равна 2,5 м.

6 сентября 1941 г. все шурфы и горизонты воды в них были связаны нивелировкой (рис. 44).

Абсолютные отметки воды были следующие:

Уровень озера		— 843,91 м.
»	»	в шурфе № 1 — 844,34 м.
»	»	» № 2 — 845,82 м.
»	»	в Куругеле — 845,88 м.

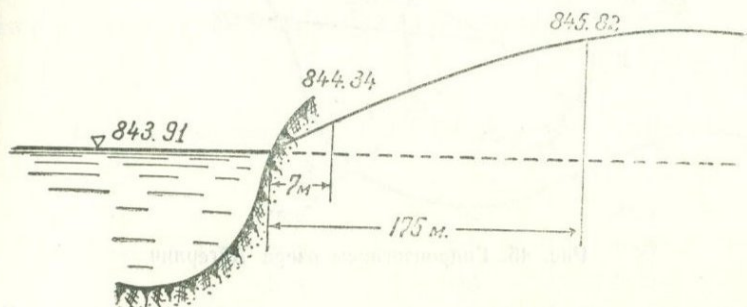


Рис. 44. Схема депрессии у озера Айгерлич по данным 6 сентября 1941 г.

Нивелировка была произведена при работе 4-х насосов.

Горизонт воды в озере по рейке, установленной в 1937 г., надо считать согласно нивелировке

$$843,91 - 842,47 = 1,44 \text{ м,}$$

а по рейке 1931—33 гг.

$$843,91 - 842,62 = 1,29 \text{ м.}$$

Горизонты воды в шурфе Куругеля и в шурфе, находящемся на расстоянии 175 м., как видно из их отметок, почти одни и те же.

Это обстоятельство дает нам возможность наметить вероятную гидроизогипсу близ озера при откачке воды насосами (рис. 45).

Гидроизогипсы не окаймляют озера, поэтому депрессионная поверхность не будет замкнутой. О характере депрессии

можно судить по данным разреза, проходящего через два шурфа, показанных на рис. 45.

В условиях Айгерлича депрессионная поверхность претерпевает особые специфические изменения, связанные с различными фазами питания озера и истоков р. Севджур. Интенсивности питания этих двух пунктов, как отмечалось выше, не

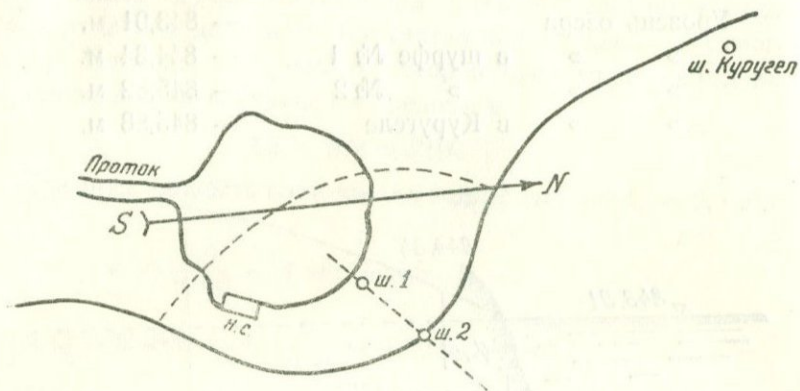


Рис. 45. Гидроизогипсы озера Айгерлич.

всегда совпадают, это вызывает изменения в горизонтах Севджура и Айгерлича, создает различные пьезометрические уклоны грунтового потока, что в свою очередь отражается на размере депрессии у озера. Выше мы видели, что в связи с этим обстоятельством имеет место различное участие депрессионных вод в водном балансе озера. Так, 13—15 июля 1933 г. депрессионные воды участвовали в балансе в большей степени, чем 6—10 ноября 1932 г.

В дальнейших расчетах мы будем исходить из условий, имевших место 14 июля 1933 г.

Превышение горизонтов воды в шурфах над горизонтом воды в озере возьмем согласно нивелировке 6 сентября 1941 г. Вынужденное совмещение этих данных считаем возможным, так как работали одни и те же насосы, и горизонты озера в обоих случаях были весьма близки.

Метод установления положения и вида депрессионной поверхности мы применим необычный. Этот разработанный нами метод применяется здесь впервые.

Депрессионная поверхность получается в связи с освобождением от воды некоторого объема водоносной среды; чем ниже опускается горизонт озера, тем дальше распространяется депрессия, и значит, в больших размерах освобождается от воды водоносная порода.

Поскольку имеется прямая связь между количеством депрессионных вод и объемом освобожденной от воды породы, то можно, имея график изменения депрессионного стока, определить объем освобожденной от воды породы, а следовательно, и депрессионную поверхность.

Выше были вычислены удельные стоки, привязанные к глубинам озера. Для 14 июля 1933 г. удельные стоки, вычисленные согласно данным таблицы 22, будут:

Таблица 28

Горизонт см	Удельный сток тыс. м ³	Горизонт см	Удельный сток тыс. м ³
154	75,3	125	37,8
145	62,1	115	29,8
135	46,8	105	21,0

Здесь обращает на себя внимание то обстоятельство, что кривая удельного стока не имеет тенденции падать до нуля на горизонте озера (100 см.), а дает тут конечную ординату в 18.000 м³ (рис. 46).

Но нужно иметь в виду, что сток самого озера (надземного), очевидно, должен доходить до нуля на этом горизонте. В чем

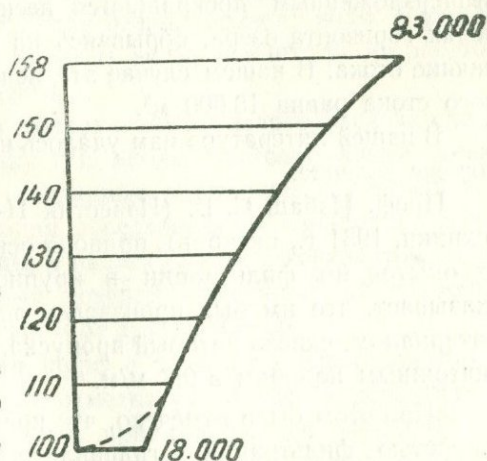


Рис. 46. График удельного стока в пределах колебания уровня озера.

причина такого расхождения? Не надлежит ли и в нашем случае кривую удельного стока искусственно загнуть так, как показано пунктиром на рис. 46.

Нам кажется, что будет правильнее этого не делать. Надо иметь в виду то обстоятельство, что при наименьшем уровне, который соответствует установившемуся горизонту при откачке, мы имеем депрессионную поверхность максимальных размеров, а именно, в несколько квадратных километров. При понижении уровня озера понижается и депрессионная поверхность вокруг него. Так как удельный сток близ установившегося горизонта (100 см.) уменьшается до весьма малых величин и стремится к нулю, то скорость вертикального движения депрессионных вод при громадной площади депрессионной поверхности будет весьма и весьма мала. Если поверхность надземного озера может опускаться с любой малой скоростью в связи с большой подвижностью свободной воды, то этого нельзя сказать про воду грунтовую. В грунте имеют место силы сцепления между водой и материалом породы, которые не разрешают двигаться воде вертикально с ничтожными скоростями в условиях капельно-струйчатого состояния.

Надо полагать, что сток депрессионных вод в связи с вышеизложенным прекращается несколько раньше установления горизонта озера, обрываясь на некоторой конечной величине стока. В нашем случае эта величина в качестве удельного стока равна 18.000 м^3 .

В нашей литературе нам удалось найти указание на подобное же явление.

Проф. Избаш С. В. (Известия Н-иссл. института гидротехники, 1931 г., октябрь), приводя основные результаты своих опытов по фильтрации в крупнозернистом материале, указывает, что им был произведен опыт с крупнозернистым материалом, сквозь который пропускались воды с начальным ничтожным напором в $0,7 \text{ м/м}$.

«При этом было отмечено, что кривая зависимости между скоростью фильтрации и гидравлическим градиентом имеет тенденцию пересечь ось ординат, как бы указывая на возможность существования начального градиента, при котором практически еще не начинается фильтрация».

И далее, «исключительные по своим размерам приборы, снабженные точными измерительными приспособлениями, и значительность поверхности соприкосновения воды со стенками (каменным материалом) позволили уловить здесь весьма тонкое по своей природе явление, которое может пониматься как «начальный сдвиг» воды и которое имеет довольно глубокое общее содержание».

Если в лабораторных условиях отмечено запаздывание начального сдвига, то у нас, при изучении озера Айгерлих в полевых условиях, весьма большого масштаба, получено, как мы полагаем, впервые, явное подтверждение этому открытию.

Здесь только надо отметить, что именовать это явление «начальным сдвигом» можно было потому, что в лабораторных условиях начинали пропуск воды с малых скоростей и постепенно их повышали, мы же это обстоятельство отмечаем при постепенном погашении скорости воды, что делает неподходящим наименование — «начальный градиент или сдвиг».

Этот градиент имеет место как вначале, при возрастании скорости, так и в конце, — при затухании скоростей фильтрации.

Для определения депрессионной поверхности имеем три реальных горизонта: горизонт озера, горизонт воды в шурфе, расположенного в 7 м. от уреза воды, и в шурфе на расстоянии 175 м. от того же уреза.

Полагаем, что будет неправильным базироваться на самый уровень озера, поскольку тут, вдоль береговой линии, имеют место особые условия, связанные с выходом грунтовых вод.

Обычно депрессионная поверхность не сливается со свободным горизонтом воды, в нашем случае с горизонтом озера, и имеет место некоторый перепад, зависящий от скоростей поступления воды в озеро, и от других причин.

Мысленно совмещая шурф с точкой на береговой линии озера, мы подсчитали, что отметка уреза воды с достаточным приближением может быть принята равной 844,20 м. Нет сомнения, что можно было бы и оставлять шурф на своем месте, учитывая достаточную близость его к озеру.

По формулам Дарси-Дюпюи количество воды, проходящей через поперечный разрез $2\pi r$ окружности колодца, равно

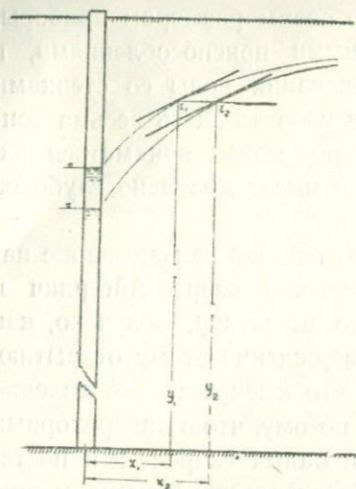


Рис. 47. Схема депрессии по Дюпюи.

$$Q = 2\pi xyk \frac{dy}{dx}; i = \frac{dy}{dx}$$

Поэтому при откачках разной интенсивности из одного и того же колодца получим:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{x_1 y_1 i_1}{x_2 y_2 i_2}$$

В случае принятия таких сечений на линии депрессии, где $i_1 = i_2$, получим

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{x_1 y_1}{x_2 y_2}$$

Многочисленные изыскания, проведенные под руководством автора, показали, что в условиях откачек с различной интенсивностью, равным ординатам y соответствуют практически равные i (См. «Геология и гидрогеология Араздагского района» инж. геолога В. Ф. Захарова. Архив Министерства водного хозяйства Арм. ССР № 50/252, стр. 19, 1928—1929 г.)

И действительно, если считать, что при равных i и в условиях обычно значительных по величине y последние при различных откачках меняются практически незначительным

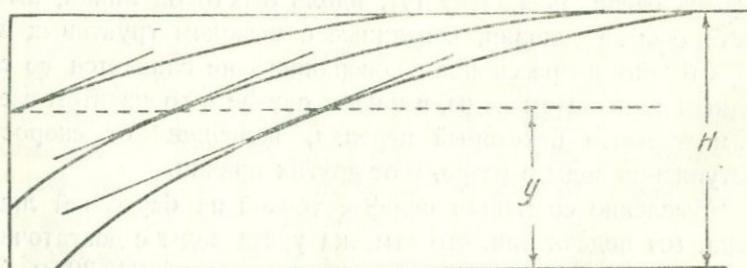


Рис. 48. Развитие депрессии по Дюпюи.

процентом, то, базируясь на отношение, $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{x_1 y_1}{x_2 y_2}$ получим, что, принимая условно $y_1 = y_2$, мы тем же практически

незначительным процентом должны изменить отношение $\frac{x_1}{x_2}$.

Таким образом в дальнейшем в качестве приближенного подхода можем принять, что в условиях откачек из одного и того же колодца, заложенного в однородном грунте, на равных ординатах кривой депрессии будет иметь практически равные наклоны касательных. Это положение, как было указано выше, подтверждается и наблюдениями. При этом участки депрессии, близкие к колодцу, из рассмотрения должны быть исключены ввиду особых условий на этих участках.

Общая картина нарастания депрессии на оз. Айгерлич изображена на рис. 49.

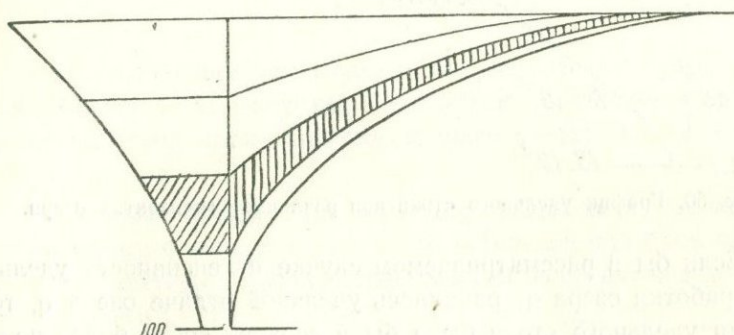


Рис. 49. Схема зависимости стока озера от нарастания депрессии.

Для каждого горизонта воды в озере будет своя депрессия, и осушаемый объем породы будет соответствовать тому стоку, который указывается графиком стока (равенство заштрихованных площадей по воде).

Нулевой горизонт озера, согласно рис. 2, находится на высоте около 5 м., считая по озерной рейке. Таким образом, абсолютное понижение уровня будет $5,0 - 1,0 = 4$ м.

К сожалению, наши измерения удельного стока охватили лишь небольшую долю этой высоты, и в связи с тем, что озеро уже давно спущено до «естественного» уровня, т. е. для рассматриваемого нами времени до высоты 1,58 м., мы лишены возможности иметь в настоящих условиях цифровые показатели удельного стока для всей высоты в 4 м.

Приходится прибегать к экстраполяции, учитывая характер кривой удельного стока.

По нашим подсчетам изменения удельного стока можно принять по следующему графику (рис. 50).

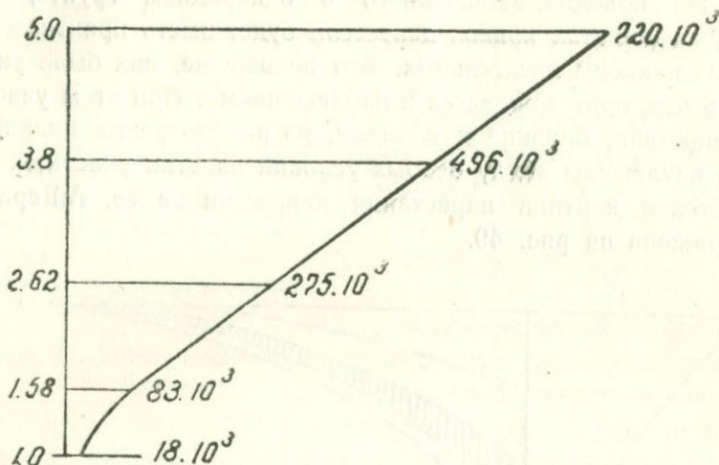


Рис. 50. График удельного стока при различных горизонтах озера.

Если бы в рассматриваемом случае интенсивность удельной сработки озера q_1 равнялась удельной отдаче озера q , то кривая удельного стока была бы в верхней части более прямолинейной, так как отражала бы почти прямолинейную зависимость $Q = f(H)$ для отдач и горизонтов озера.

В нашем случае условие $q_1 = q$ несколько, хотя и незначительно, нарушено, поэтому зависимость должна отличаться от прямолинейной.

Учитывая вынужденную необходимость прибегать в принципе к нежелательной экстраполяции, считаем излишним вводить дополнительно это искривление графика, не располагая для этого достаточными данными.

Приступая к построению кривой депрессии, пользуемся схемой, изображенной на рис. 51.

Для проведения послойно депрессионных кривых нам необходимо определить три неизвестных значений x . Помимо этого, нам неизвестна средняя эффективная порозность водо-

носной породы, вернее водоотдача (разность между полной и максимальной молекулярной влагоемкостью).

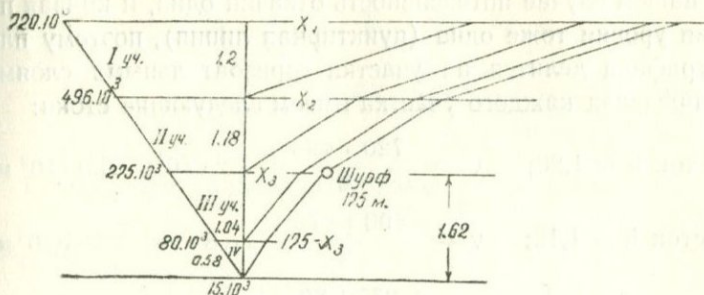


Рис. 51. Развитие депрессионной воронки в зависимости от удельного стока озера.

Водоотдача нам необходима, так как график удельного стока (левая часть графика) дает объем собственно воды, а в депрессионной части графика (правая часть) имеем объем горной породы.

Обозначим процентную величину водоотдачи через ρ . Мы имеем всего четыре неизвестных, которые могут быть определены, пользуясь четырьмя уравнениями, составленными для четырех слоев.

Отметим, что если бы откачка производилась не с постоянной интенсивностью, а с переменной, начинающейся с малых значений и доходящей отдельными этапами до предель-

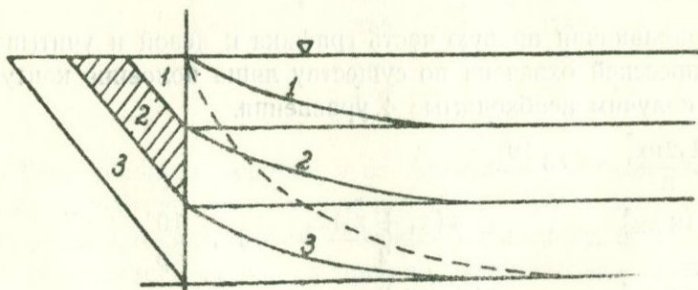


Рис. 52. График понижения уровня озера при откачках ступенчато возрастающим графиком.

ного значения, то график удельного стока пришлось бы разбить наклонными линиями на отдельные части (рис. 52).

В нашем случае интенсивность откачки одна, и кривая понижения уровня тоже одна (пунктирная линия), поэтому площадь графика делится на участки горизонтальными слоями:

В пределах каждого участка имеем следующие стоки:

$$I \text{ участок } h = 1,20; \quad v = \frac{720 + 496}{2} \cdot 1,2 \cdot 10^3 = 730 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

$$II \text{ участок } h = 1,18; \quad v = \frac{496 + 275}{2} \cdot 1,18 \cdot 10^3 = 455 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

$$III \text{ участок } h = 1,04; \quad v = \frac{275 + 80}{2} \cdot 1,04 \cdot 10^3 = 185 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

$$IV \text{ участок } h = 0,58; \quad v = \frac{80 + 15,0}{2} \cdot 0,58 \cdot 10^3 = 27 \cdot 10^3 \text{ м}^3.$$

Полученные объемы воды будут занимать лишь поры и трещины в горной породе, имеющей среднюю водоотдачу $p\%$. Поэтому объем соответствующей горной породы будет для:

$$I \text{ участка} \quad - \quad \frac{730000 \cdot 100}{p} = 73,0 \cdot \frac{10^6}{p} \text{ м}^3$$

$$II \quad \gg \quad - \quad \frac{455000 \cdot 100}{p} = 45,5 \cdot \frac{10^6}{p} \text{ м}^3$$

$$III \quad \gg \quad - \quad \frac{185000 \cdot 100}{p} = 18,5 \cdot \frac{10^6}{p} \text{ м}^3$$

$$IV \quad \gg \quad - \quad \frac{27000 \cdot 100}{p} = 2,7 \cdot \frac{10^6}{p} \text{ м}^3$$

Приравнивая правую часть графика к левой и учитывая, что депрессией охвачена по существу лишь половина контура озера, получим необходимые 4 уравнения.

$$1) \quad \frac{1,2 \pi x_1^2}{6} = 73 \frac{10^6}{p}$$

$$2) \quad \frac{1,18 \pi x_2^2}{6} + 1,2 \frac{\pi (x_1 + x_2) x_2}{2} = 45,5 \frac{10^6}{p}$$

$$3) \quad \frac{1,04 \pi x_3^2}{6} + 1,18 \frac{\pi (x_2 + x_3) x_3}{2} + \\ + \frac{1,2 \pi (x_1 + 2x_2 + x_3) x_3}{2} = 18,5 \cdot \frac{10^6}{p}$$

$$4) \frac{0,58 \pi (175 - x_3)^2}{6} + 175 \cdot 1,04 \frac{\pi (175 - x_3)}{2} +$$

$$+ 1,18 \pi (175 - x_3) \cdot \frac{175 + x_2 + x_3}{2} +$$

$$+ 1,20 \pi (175 - x_3) \cdot \frac{175 + x_1 + 2x_2 + x_3}{2} = 2,7 \frac{10^6}{p}.$$

Решаем эти уравнения, приняв $\sqrt{\frac{1}{p}} = r$

Получим

$$r = 0,277; \text{ и } p = \frac{1}{r^2} = 13,04 \approx 13\%$$

Далее,

$$x_1 = 10.800r = 10.800 \cdot 0,277 = 2991,6 \text{ м} \approx 3000 \text{ м.}$$

$$x_2 = 1830r = 1830 \cdot 0,277 = 506,9 = 507 \text{ м.}$$

$$x_3 = 558r = 558 \cdot 0,277 = 154,5 = 155 \text{ м.}$$

На основании приведенных выше вычислений определяем координаты кривой депрессии

Таблица 29

Координаты кривой депрессии

№№ точек	Ординаты м.	Абсциссы м.
1	5,0	3682
2	3,8	662
3	2,62	175
4	1,58	20
5	1,00	0

Депрессионная воронка у оз. Айгерлич, как было сказано выше, находится на пути значительного грунтового потока, направляющегося в сторону истоков р. Севджур. Это обстоятельство делает воронку депрессии вокруг озера несимметричной. Эта несимметричность усиливается еще тем, что озеро Айгерлич находится в сравнительно узкой глубокой балке предгорного рельефа.

При установлении кривой депрессии мы приняли в расчет полуворонку, которая подает в озеро именно то количество воды, которое соответствует реальным условиям депрессии у оз. Айгерлич. В связи с этим полученную нами кривую депрессии нужно считать соответствующей средней кривой (рис. 53).

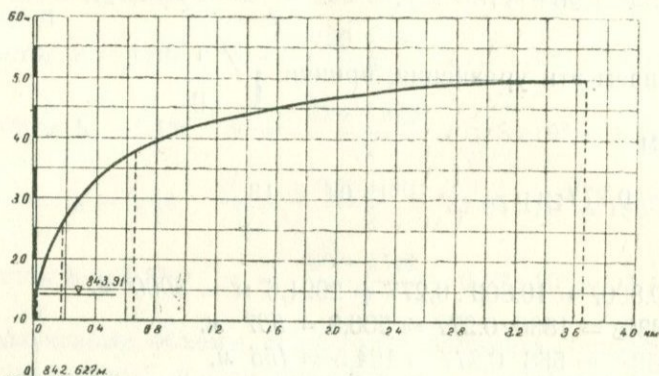


Рис. 53. Расчетная кривая депрессии, полученная для озера Айгерлич при работе 4-х насосов 14/VII—1933 г.

Для водоотдачи водоносной породы мы получили величину $\rho = 13\%$.

Сравним полученный результат с данными технической литературы по порозности.

По Кейлгаку. (Подземные воды 1935 г.).

Очень крупный песок с гравием — 38%

Песок с неодинаковыми зернами — 29%

Пески вообще — в границах: 28% — 40%

Средний гравий диаметром 7 м/м — 37%

» » » 4 » — 36%

Крупный песок диаметром 2 » — 36%

Мелкий песок » $\frac{1}{3}$ » — 42%

По Великанову. (Водн. баланс суши 1940 г.)

Базальты — 0,63% — 1,28%

Гранит крупнозернистый — 0,36% — 0,86%

Различные песчаники — 4,0% — 26,9%

» известняки — 0,7% — 16,9%

Песок со средним диаметром — $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ м/м — 42%

2 м/м 36%

Речной песок

— 30 — 35%

На основании приведенных данных можно сделать предположение о том, что величина эффективной порозности для базальтов, полученная нами в размере 13%, противоречит литературным данным.

В районе Айгерлич, как было указано выше, имеем следующую геологическую картину: весь район сложен в основном андезито-базальтами, шлаками, обломками андезито-базальтов с более или менее массивными включениями трещиноватых андезито-базальтов. Выше мы указали, что буровая скважина, заложенная у самого берега озера, дала лишь 50% кернов.

Вся береговая полоса усеяна базальтовым хрящом. Геологические разрезы в районе насосной станции Айгерлич подтверждают наличие хряща и на глубине.

При наличии этих условий полученную величину порозности считаем вполне приемлемой, как соответствующей геологическим условиям района.

При этом вспомним, что, как сказано было выше, дно озера полностью, а борты частично покрыты илом, что создает сопротивление поступлению воды в озеро.

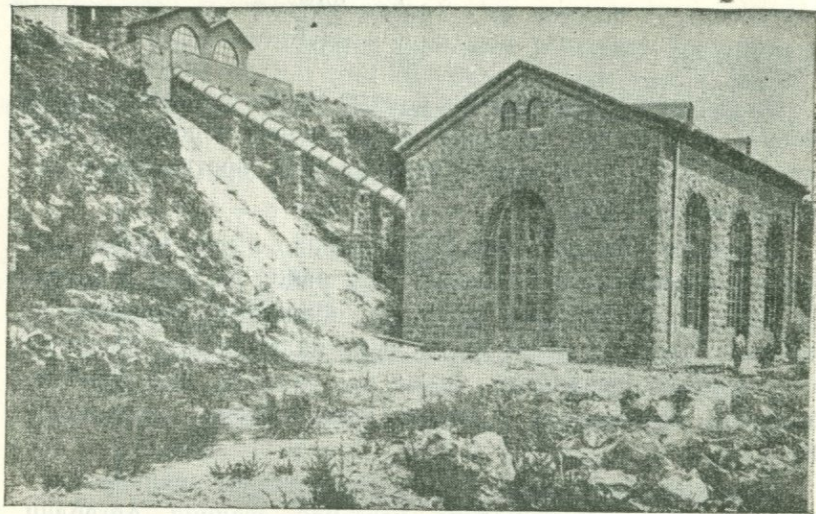
Геологические разрезы, составленные по данным буровых скважин, заложенных на берегу и на дне озера, изображены на рисунках 81—84 и даны ниже в табличной форме.

Просмотр разрезов и учет их расположения показывает, что береговая полоса может оказывать значительное сопротивление поступлению воды в озеро.

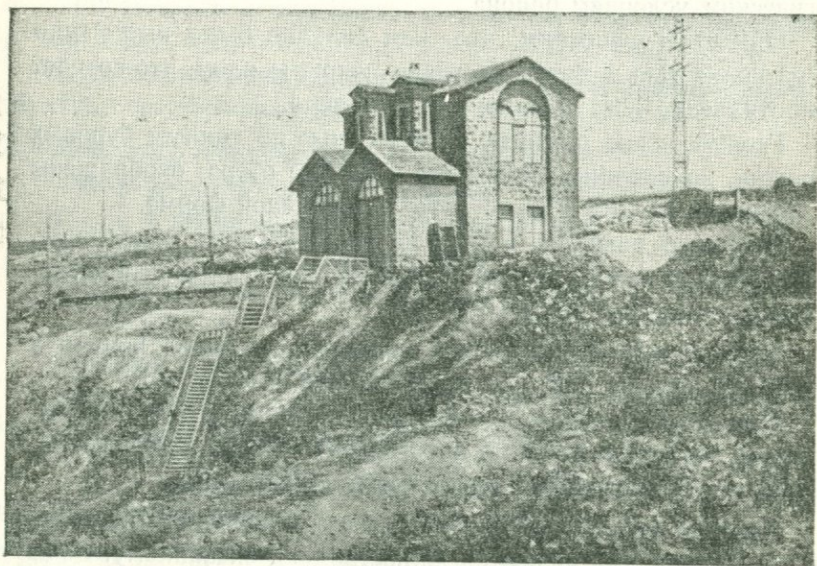
Этим обуславливается, как указывалось выше, подпор у береговой полосы для вод, поступающих в озеро.

При этом очевидно, что поступление воды в озеро, по-видимому, осуществляется на некоторых участках по открытым ходам, где сопротивление будет значительно слабее.

Условия выходов родников, так называемых Консервтреста, надо полагать, являются иллюстрацией сказанному. Воды этих родников вливаются в озеро с высоты около $\frac{1}{2}$ метра.



Базальтовые хрящи в районе насосной станции.



Базальтовые хрящи в районе подстанции.

Разрезы буровых скважин Айгерлица.

Глубина в м.	Номера скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0—0,5	валун песок глина	тоже	тоже	тоже	вода	вода	валун песок глина	суглинок
0,5—1,0	валун песок глина	тоже	тоже	тоже	вода	вода	валун песок глина	суглинок
0,1—1,5	валун песок глина	тоже	тоже	тоже	вода	вода	валун песок глина	суглинок
1,5—2,0	валун песок глина	тоже	тоже	обломоч- ный ма- териал	вода	вода	валун песок глина	суглинок
2,0—2,5	валун песок глина	тоже	тоже	базальт	вода	вода	валун песок глина	суглинок
2,5—3,0	глина	валун песок глина	тоже	базальт	вода	вода	обломоч- ный ма- териал	суглинок
3,0—3,5	обломоч- ный ма- териал	валун песок глина	тоже	—	вода	вода	валун песок глина	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом
3,5—4,0	обломоч- ный ма- териал	валун песок глина	тоже	—	вода	вода	валун песок глина	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом

Глубина в м.	Номера скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4—4,5	обломоч- ный ма- териал	тоже	тоже	—	ил	вода	валун песок глина	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом
4,5—5,0	обломоч- ный ма- териал	тоже	тоже	—	ил	ил	песок	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом
5—5,5	обломоч- ный ма- териал	тоже	тоже	—	ил	ил	песок	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом
5,5—6,0	обломоч- ный ма- териал	тоже	тоже	—	валун песок глина	ил	базальт	ил с круп- ным обло- мочным ма- териалом
6—6,5	базальт	тоже	обломоч- ный ма- териал	—	валун песок глина	ил	—	куски ба- зальта с глин. ма- териалом
6,5—7,0	базальт	тоже	обломоч- ный ма- териал	—	—	ил	—	куски ба- зальта с глиной
7—7,5	базальт	тоже	тоже	—	—	ил	—	куски ба- зальта с глиной

Глубина в м.	Номера скважин							
	1	2	3	4	5	6	7	8
7,5—8,5	—	—	базальт	—	—	ил	—	куски базальта с глиной
8,5—9,5	—	—	—	—	—	ил	—	куски базальта с глиной
9,5—10	—	—	—	—	—	ил	—	песок илистый
10—13,5	—	—	—	—	—	ил	—	туф
13,5—18	—	—	—	—	—	валун песок глина	—	туф
18—19	—	—	—	—	—	глина	—	супесь
19—20	—	—	—	—	—	обломоч- ный ма- териал	—	супесь
20—22,5	—	—	—	—	—	базальт	—	супесь
22,5—56,3	—	—	—	—	—	—	—	базальт

5. АКТИВНАЯ ЗОНА У ОЗЕРА АЙГЕРЛИЧ

При рассмотрении вопроса поступления вод в озеро Айгерлич нужно иметь в виду три зоны: активную зону от уровня депрессии до горизонта озера, пассивную,— в которой завершается движение, получившее начало в активной зоне и, наконец, нейтральную, в которой грунтовые воды либо находятся в покое, либо обнаруживают движение, совершенно независимое от движения в активной зоне.

Граница между пассивной и нейтральной зоной определяется тем, что пьезометрический уровень, соответствующий нейтральной зоне, остается постоянным (рис. 54).

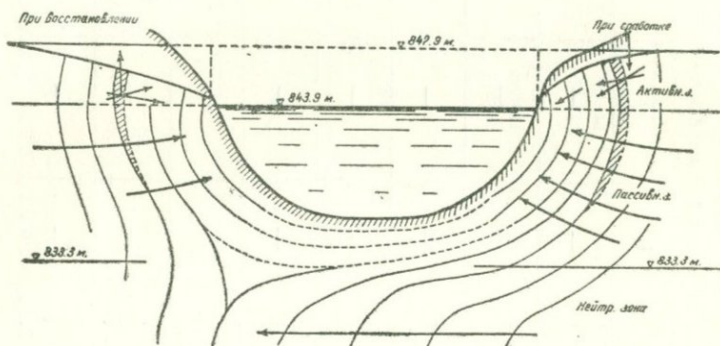


Рис. 54. Схема эквипотенциальных линий вокруг озера Айгерлич.

Многие исследователи различают лишь две зоны; активную и нейтральную, объединяя под наименованием активная зона обе верхние зоны.

Буровая скважина, заложенная на берегу озера и доведенная до глубины 50 м., показала, что с глубины 11,5 м. уровень воды в скважине остается постоянным.

Конечно, для правильной характеристики активной зоны надо было бы иметь несколько скважин. Но если в первом приближении принять данные по одной скважине, то можно прийти к заключению, что верхняя граница нейтральной зоны находится где-то на глубине 10—11 метров, т. е. на отметке примерно 833,3 м.

Определим, на какой глубине, считая от наинизшей точки дна озера, находится этот горизонт. На основании съемки

1939 г. (рис. 67) имеем, что при горизонте озера по рейке 1,89 м. средняя максимальная глубина озера определяется в 8,6 м.

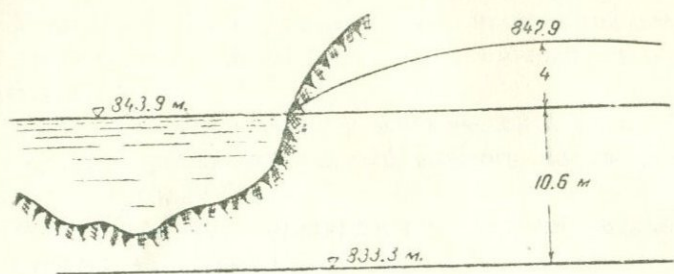


Рис. 55. Расположение нейтральной зоны озера.

Отметка нуля рейки 842,47 м.

Горизонт по рейке 1,89

Отметка уровня воды в озере 844,36 м.

Глубина озера 8,60

Отметка дна озера 835,76

Отметка нейтральн. гор. 833,30

Разность — 2,46 м

значит, нейтральная зона проходит примерно на 2,5 м. ниже средней максимальной глубины дна озера (рис. 55).

При колебаниях уровня озера меняется и отдача озера, а в связи с этим и положение верхней границы нейтральной зоны.

При высоком естественном горизонте озера отдача его будет мала, при этом нет необходимости в мощной активной зоне, и верхняя граница нейтральной зоны поэтому поднимется. В связи с этим активная зона разместится в большей степени в тугих поверхностных слоях, обуславливая тем самым уменьшение удельной отдачи озера.

С понижением уровня озера и с увеличением его отдачи активная зона получит большую мощность и больше отойдет от тугих закольматированных слоев.

Характер кривой зависимости $Q = f(H)$ для отдачи озера (рис. 2) подтверждает эту картину.

ГЛАВА IV

СВОДКА ОСНОВНЫХ ДАННЫХ ПО ОЗ. АЙГЕРЛИЧ

1) В настоящей работе приведены следующие основные данные по озеру Айгерлич: а) план озера с изобатами, б) кривая зависимостей площадей зеркала и объемов озера от горизонтов его, в) термика озера, г) геологическая характеристика района расположения озера, д) абсолютная отметка озера.

Исследования показали, что:

площадь зеркала озера при горизонте 1,89 м. (по рейке, установленной в 1937 г., с абсолютной отметкой нуля рейки—842,477 м), равна 6,1 га; объем воды в озере при этом равен 254,85 тыс. м³.

Максимальная глубина озера — 9,4 м. при средней максимальной глубине 8,6 м.

Температура воды, поступающей в озеро, довольно постоянная, она колеблется в пределах 13°—14° Цельсия.

2) На основании всего архивного материала дана история постов на озере Айгерлич.

Даны отметки нулей гидрометрических реек. Абсолютные их отметки следующие.

Таблица 31

На озере		На протоке	
Время действия	Отметка м.	Время действия	Отм тка м.
С 1931 по 28/IV—37	842,627	С 1931—16/I—1937	843,073
С 28/IV—37 — 1941	842,477	27/IV—37—1941 г.	842,941
Репер, плита насоса	№ 1	—	845,715

Для каждого периода дана кривая зависимости расходов по протоку от горизонтов в протоке (таблица 11).

Установлены на основании особого анализа прямые взаимной зависимости горизонтов озера и протока за все годы наблюдений.

3) Дана характеристика работы насосной станции Айгерлич, кривые производительностей каждого насоса в отдельности и по группам (рис. 71).

В среднем производительность насосов определяется следующими величинами

№ 1 — 770 л/с, № 2—735 л/с, № 3—850 л/с, № 4—815 л/с, № 5 — 750 л/с, № (2+3) — 1500 л/с, № (4+5) — 1500 л/с.

При обычной работе насосов №№ 1, 3, 4, 5 — суммарный расход откачиваемых вод составляет 3,12 м³/с.

4) Установлено, что удельную отдачу озера (увеличение отдачи озера при понижении уровня его на один метр) нельзя определять при колебаниях уровня озера, имеющих место при откачках или в условиях резких естественных колебаний уровня. Удельная отдача озера должна базироваться лишь на количестве воды, поступающей в связи с понижением уровня озера.

Во время этого понижения отдача озера составляется кроме вод, связанных с понижением уровня озера, еще из вод от сработки самого озера и депрессионных вод.

При восстановлении уровня озера имеем обратный процесс — расходование вод, направляющихся в сторону озера на восстановление запасов озера и на поднятие депрессионной поверхности.

В связи с этим удельные отдачи озера лучше всего определять в условиях установившихся горизонтов, когда уровень озера и поверхность депрессии остаются неизменными и откачиваются или отводятся через проток лишь воды, поступающие в озеро в связи с понижением его уровня.

5) В условиях оз. Айгерлич удельная отдача не является постоянной величиной, а зависит от горизонтов озера. Эта зависимость выражается кривой, спрямляющейся в сторону низких горизонтов.

При горизонте $h = 158$ см., считая его по гидрометриче-

ской рейке, установленной в 1931 г. и имеющей абсолютную отметку нуля 842,627 м., удельную отдачу можно принять равной $q = 1,70 \text{ м}^3/\text{с.}$, а при горизонте $h = 95 \text{ см.}$, $q = 2,0 \text{ м}^3/\text{с.}$

6) Кривая зависимости отдачи от горизонтов озера не постоянна — она может смещаться параллельно самой себе в пределах координатного поля на $\pm 0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2).

Эти смещения кривой зависят от интенсивности поступления подземных вод в зону озера.

О динамике поступления подземных вод в зону озера можно судить по графику естественных отдач озера, колеблющихся между $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $4 \text{ м}^3/\text{с}$.

7) Удельная отдача озера определяется тангенсом угла наклона касательной к кривой $Q = f(H)$ для каждого уровня озера H . Поэтому горизонтальные смещения кривой зависимости, вызванные изменениями режима грунтового питания озера, практически не должны менять величин отдачи, приведенных выше.

8) В связи с тем, что депрессионная поверхность располагается в глубоких горизонтах водоносной породы и что незначительные колебания уровня озера и депрессионной поверхности не могут быть причиной изменения отдачи озера, принято, что причиной изменения отдачи является закольматированность пород, облегающих со всех сторон чашу озера.

При малых отдачах озера дополнительное сопротивление закольматированной зоны составляет более значительную долю от общей потери напора, чем при больших отдачах озера.

9) На основании предыдущего дан метод восстановления естественного режима озера (горизонта и расхода), не искаженного откачкой.

Метод основан на следующем принципе: каково бы ни было положение кривой $Q = f(H)$ на координатном поле (рис.

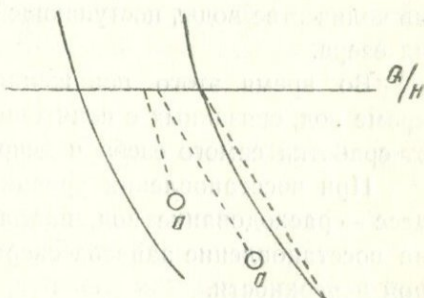


Рис. 56. К определению точек на кривой $Q=f(H)$ по горизонтам и расходам при откачках.

56) (на схеме показаны два различных положения) хорды между какими-либо двумя точками, расположенными на разных высотах, будут иметь одинаковый наклон. Для определения горизонта и расхода озера в естественных условиях необходимо из точки, имеющей координаты, равные горизонту и расходу при откачке, провести линию, параллельную соответствующим хордам до пересечения с кривой $Q = f(H)$, изображающей зависимость горизонтов озера и расходов в протоке (рис. 3).

Наклон этих хорд при работе 4-х насосов составляет 1:1,90, при 3-х насосах — 1:1,85 и при двух насосах — 1:1,80 (таблица 19 и текст к ней).

10) Дан график и ведомости дебитов озера в условиях не нарушенного откачкой режима за 1931—35 гг. (рис. 72—77).

Графики составлены как по данным тех дней, когда по той или другой причине насосная станция не работала, а также по дням работы станции. В последнем случае расчет был произведен на основе метода, изложенного в предыдущем параграфе.

11) Помимо общей характеристики движения подземных вод в сторону озера Айгерлич, данной графиком отдачи озера, отмечается появление резких волн в подземном потоке.

Такой случай отмечен на лимниграмме от 24 ноября 1932 г. (рис. 32), когда в течение нескольких часов расход озера поднялся с 2,4 м³/с до 3,8 м³/с.

Кроме того, иногда имеет место суточная пульсация горизонтов и расходов (январь 1942 г., рис. 33).

12) Дано балансовое уравнение для отдачи озера во время откачки.

13) Дан метод определения интенсивности сработки озера в качестве кривой в функции от времени, как первая производная от кривой понижения и восстановления уровня озера, а также в функции от горизонтов в виде треугольника.

Дано уравнение кривой зависимости интенсивности сработки озера от времени в виде:

$$Q = q_1 h e^{-0,064 q_1 t}$$

а от горизонтов озера в виде:

$$Q = q_1 x$$

14) На основе практически прямолинейной зависимости интенсивности сработки озера от его горизонтов дан метод определения установившихся горизонтов для случаев, когда фактически эти горизонты не были наблюдаемы.

Эти горизонты определяются местом встречи прямой сработки озера с осью ординат.

15) Установлено, что удельная интенсивность сработки озера q_1 может быть определена как тангенс угла наклона прямой сработки озера, определенной уравнением $Q = q_1 x$

16) На основе изучения лимниграмм за многие годы даны характерные значения удельной интенсивности сработки озера q_1 , и дан размер амплитуды колебаний этой величины. Значения q_1 колеблются в пределах от 2,13 до 3,50 м³/с.

17) Дано аналитическое выражение для кривой понижения уровня озера

$$x = h e^{-0.064 q_1 t}$$

18) Дана таблица удельных отдач и поступления вод в озеро при спуске и восстановлении его уровня и положения расчетных нулевых горизонтов, соответствующих статическому состоянию (таблица 19).

19) Определены силы инерции при колебаниях уровня воды озера и роль их в отдаче озера.

Известно, что отдача озера равна произведению напора на его удельную отдачу. Выяснено, что силы инерции повышают удельную отдачу и соответственно уменьшают расчетный напор. Таким образом, здесь имеет место частичный переход потенциальной энергии в кинетическую, не изменяющий окончательного результата.

Масштаб этого явления ничтожен.

20) Определен коэффициент фильтрации водоносной среды, исходя из теории отрицательных стоков и из формулы, предложенной проф. К. И. Добровольским.

По первой формуле коэффициент фильтрации определяется в среднем в 190 м³/сут., что соответствует коэффициенту фильтрации в песках с размером фракций в 0,2 см.

21) Разработана методика определения расходов депрессионных вод, появляющихся при колебаниях уровня озера, а также выявлены условия инфильтрации воды в грунт при восстановлении уровня озера.

22) Определены удельные стоки депрессионных вод (т. е. депрессионные стоки при понижении горизонта на 1 метр) для двух случаев двумя методами: на основании кривой расходов депрессионных вод в функции от времени и по методу, который можно назвать «методом полюсов интегралов».

Дана таблица удельных стоков и графики (таблицы 22, 23 и рис. 13, 24, 58).

23) Выявлена взаимосвязь между расходами депрессионных вод и интенсивностью сработки озера.

Озеро срабатывается с повышенной интенсивностью или, иначе говоря, с большими отдачами q , когда имеет место недостаток депрессионных вод. Недостаток депрессионных вод при этом возмещается наличными водами озера.

Недостаток депрессионных вод обуславливается повышением общего пьезометрического уклона грунтового потока, в связи с чем усиливается отвлечение вод грунтового потока в сторону истоков р. Севджур и уменьшается количество депрессионных вод.

На рис. 39 дается схема движения грунтового потока, иллюстрирующая это явление.

24) Установлена природа образования депрессионных вод и динамика эквипотенциальных поверхностей.

25) Дан новый метод нахождения кривой депрессии по графику удельных стоков.

26) Вычислена водоотдача водоносной среды в зоне депрессии вокруг озера в размере 13%.

27) Даны соображения о размере активной зоны.

28) Разработан режим озера Айгерлич во время работы насосов для двух характерных случаев (рис. 13, 24 и 58) и дано его графическое изображение.

29) Изучение озера Айгерлич дает возможность глубже осветить процесс откачки грунтовых вод вообще.

При обычной откачке из скважин, заложенных в каких-либо песчано-гравелистых или иных грунтах, имеем карти-

ну, не дающую возможности правильно разобраться в процессах, происходящих в грунте.

При откачках из скважин подлежат учету: количество (уровень) наливной воды в скважине до и после откачки, коэффициент фильтрации, депрессионные воды и др.

При откачке из колодцев, заложенных в грунте, весьма трудно разобраться в явлении в целом.

Так, объем воды в скважине ничтожно мал, и обычно насос в несколько мгновений понижает уровень воды до глубин, близких к установившемуся горизонту.

В связи с этим динамика понижения уровня и зависимость этого фактора от комплекса других факторов ускользают от учета.

Коэффициент фильтрации в грунтах также обычно выражается ничтожной величиной. Поэтому развитие кривой депрессии во времени идет весьма медленно. Помимо этого, в скважинах откачке подвергаются все виды вод одновременно, что затрудняет их отдельный учет. Количество откачиваемой из скважин воды к тому же обычно ничтожно. Оно значительно меньше куб. метра в секунду.

Совершенно иная картина открывается в результате исследований на Айгерличе. Здесь имеем такую емкость озера, при которой легко осуществить учет срабатываемых вод самого озера, в то же время размер озера не так велик, чтобы заслонить остальные процессы, сопровождающие откачку.

Коэффициент фильтрации весьма большой. Это дает нам возможность легко учитывать его роль в водоотдаче.

Озеро имеет сток через проток, что дает нам возможность почти непосредственно учитывать как самостоятельный фактор режим депрессионных вод.

Количество откачиваемой воды велико — не менее 3 м³/с.

Таким образом на примере оз. Айгерлич имеется возможность изучать в отдельности все элементы, из которых складывается процесс откачки. На этом озере удалось установить своеобразную динамику подземных вод, которая до сих пор не была известна.

ПОЯСНЕНИЯ К ГРАФИКАМ ПО
РЕЖИМУ ОЗ. АЙГЕРЛИЧ

(рис. 13, 24 и 58).

Координатные оси:

по оси абсцисс отложено время в часах,
по оси ординат — глубина (в нижней части графиков)
и расходы в $\text{м}^3/\text{с}$ (в верхней части графиков).

Лимниграммы (1)

Ниже оси абсцисс представлены лимниграммы, снятые 5, 6, 9 и 10 ноября 1932 г. и 13, 14, 15 июля 1933 г.

На лимниграммах проведены горизонтальные линии через каждые 5 см. на высотах, указываемых гидрометрической озерной рейкой, установленной в 1931 г. с абсолютной отметкой нуля 842,627 м.

Лимниграммы показывают, что уровень озера колебался в указанные дни в границах между 95 см. и 155 см.

Лимниграммы показывают, как понижался уровень озера во время откачек и как восстанавливался уровень при остановках насосов.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что на отдельных участках лимниграммы имеются «дефекты», зависящие от временных непродолжительных остановок того или другого насоса или от каких-либо других причин. Для точности лимниграммы представлены в том виде, в каком они имеются на лентах, пунктиром представлены «выправленные» части лимниграмм.

Лимниграммы представлены за те дни, когда работали 4 насоса, именно насосы №№ 1, 3, 4, 5.

Переход от понижения уровня к его восстановлению происходит по ломаной линии, отражая прерывный процесс, так как насосы практически разом приостанавливались, а при откачке они одновременно пускались в ход.

Поэтому нижнее и верхнее колено в лимниграммах имеют касательные, расположенные под углом, как представлено на рис. 57. 14 июля 1933 г., согласно записям, первоначально был пущен один насос, и затем были включены остальные насосы. По этой причине сгиб здесь более мягкий, плавный.

Лимниграммы показывают, что ежедневно работали насосы лишь часть суток, примерно около 18 часов.

За время работы насосов горизонт озера не успевал устанавливаться.

Такое же положение бывало и при восстановлении уровня озера: не успевал уровень озера до предела восстановиться, как вновь пускались насосы. Естественный горизонт озера соответствовал показанию рейки в 158 см., уровень же озера поднимался только до 140—153 см., 7, 8 ноября — 32 г. насосы не работали, и в это время лимниграммы зафиксировали естественный уровень в 158 см.

На лимниграммах одновременно показаны пунктиром кривые понижения уровня озера для случая, когда понижение имело место не от какого-либо промежуточного горизонта, а от естественного горизонта в 158 см. Метод построения кривых понижения уровня указан ниже.

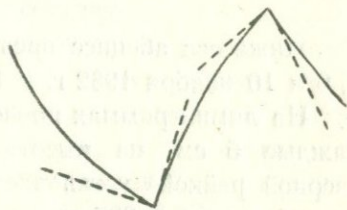


Рис. 57. Угловые сопряжения лимниграмм при прерывной работе насосов.

Кривая расходов через проток (2).

Кривые расходов воды через проток расположены выше оси абсцисс. Расходы через проток взяты по кривой зависимости $Q = f(H)$ (см. также таблицу 11). Горизонты взяты из лимниграмм.

Кривая расходов через проток имеет волнообразную форму; при восстановлении уровня озера в связи с его повышением увеличивается расход через проток; при откачках — уровень озера падает, уменьшается соответственно и расход через проток.

В условиях прерывной откачки кривая расходов также имеет изломы в местах, соответствующих началу и концу откачки.

В связи с тем, что горизонты озера во время работы насосов никогда не доходили до естественных, то и расходы через проток также никогда не повышались до размеров естественного расхода, равного $2,05 \text{ м}^3/\text{с}$.

График показывает также, что горизонты озера в рассматриваемые дни не падали до размеров, при которых исключается расход через проток; расход через проток в эти дни всегда имел место.

Постоянный расход озера (3)

График для постоянного расхода располагается выше оси абсцисс. Постоянный расход состоит из расхода насосов и расхода через проток при установившемся горизонте озера.

График расхода откачиваемых вод принят в виде горизонтальной линии. Это означает, что в условиях сравнительно незначительных колебаний уровня озера напор насосов, а следовательно, и производительность были практически постоянными.

Указанное подтверждается:

- 1) наблюдениями
- 2) тем, что согласно лимниграммы для нижней трассы расход является постоянным и не зависит от понижения уровня озера.

Во время восстановления уровня озера 14 и 15 июля 1933 г. не совсем прекращалась откачка; на графиках отмечена работа отдельных насосов. Во все прочие дни работали насосы №№ 1, 3, 4 и 5.

13—15 июля 1933 г. насосы качали в сумме $3,06 \text{ м}^3/\text{с}$, и через проток могло проходить при наименьшем горизонте $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таким образом, постоянный расход озера исчислялся в 3,14 м³/с.

6—10 ноября 1932 г. суммарный расход через насосы принят в 3,12 м³/с и через проток 0,07 м³/с, а всего 3,19 м³/с.

В обоих случаях постоянный расход через проток принимался по установившемуся горизонту. 13—15 июля 33 г. этот горизонт был равен 100 см, а 6—10 ноября 1932 г. он колебался между 95 и 99 см. Соответственно и приняты, согласно таблице 11, их расходы — 0,08 и 0,07 м³/с.

Для 6—10 ноября 1932 г. принят условно средневзвешенный расход насосов, т. е. по горизонту, соответствующему моменту, приходящемуся на середину продолжительности работы насосов.

При этом имеем горизонт 115 см. и расход насосов: № 1 770 л/с, № 3—845 л/с и №№ 4 и 5—1500 л/с, всего 3,12 м³/с, а вместе с расходом через проток—3,19 м³/с.

Согласно таблице 19, при установившемся горизонте 95—99 см. поступление воды в озеро в связи с понижением уровня равно $\frac{3,24 + 3,14}{2} = 3,19$ м³/с, т. е. имеем соответствие между обоими данными.

Для 13—15 июля 1932 г. нами принят расход через насосы по горизонту 100 см. — $760 + 830 + 1470 = 3060$ л/с = $= 3,06$ м³/с, а вместе с расходом через проток—3,14 м³/с, что соответствует данным таблиц 11 и 19.

Если приняли бы и в данном случае по средневзвешенному расходу, то получили бы небольшое несоответствие, всего в 0,06 м³/с, каковое мы относим на колебания напряжений тока или на неточность наших измерений.

*Кривая поступления воды в озеро в связи с
понижением его уровня (4)*

Эта кривая построена на основании данных таблицы 19, горизонты приняты по данным лимниграмм.

Кривая поступления воды в озеро располагается выше оси абсцисс.

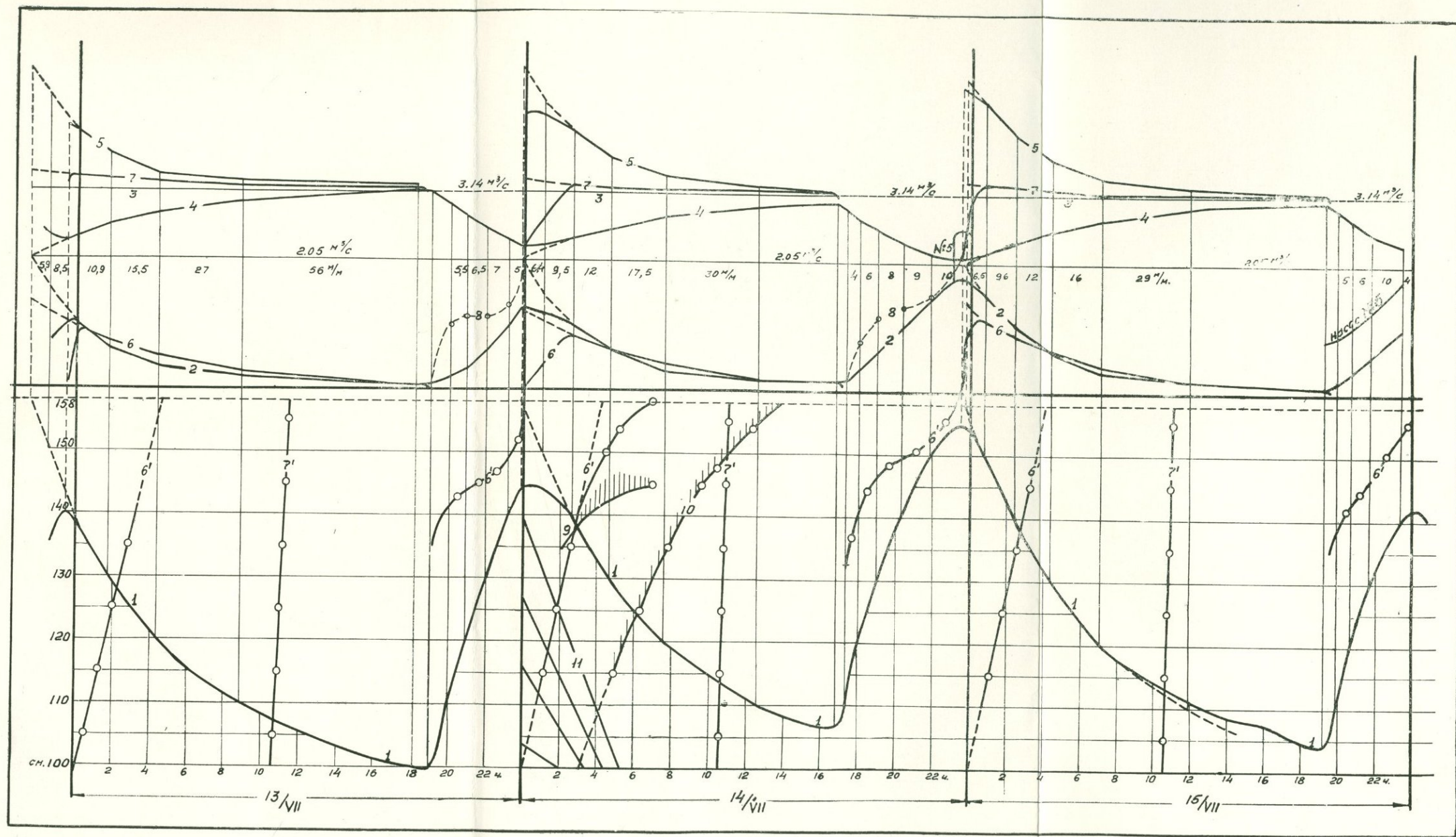


Рис. 58. Режим озера при откачках насосами 13—15 июля 1933 г.

1. Лимниграммы, масштаб 1 см — 2 м/м.
2. Расходы через проток.
3. Постоянная часть расхода через проток.

4. Поступление воды в озеро в связи с понижением его уровня.
5. Расходы через проток за вычетом постоянной части.
6. Интенсивность сработки и восстановления озера.
7. Сумма вод поступления и сработки озера.

8. Инфильтрация в берега.
9. Расходы депрессионных вод.
10. Удельные стоки, масштаб 1000 м³ — 1 м/м.
11. Полусы интегралов.

Когда уровень озера находится в естественном состоянии, это соответствует горизонту 158 см. (для рассматриваемых дней); расход при этом равен $2,05 \text{ м}^3/\text{с}$. Как только начинается откачка, горизонт озера начинает падать, а расход воды в связи с понижением уровня постепенно увеличивается, доходя к концу откачки до максимального значения.

После того, как насосы приостанавливают свою работу, уровень озера поднимается. В связи с этим кривая (4) поступления воды в озеро показывает уменьшение расходов. На чертежах показаны колебания расходов поступающей воды как фактические, соответствующие лимниграммам, так и пунктирные участки, соответствующие пунктирным участкам лимниграмм, т. е. соответствующим откачкам, начинающимся от естественного горизонта.

Ниже оси абсцисс линия поступления воды показана уже в виде прямой (4) с ординатами, начинающимися от треугольного графика сработки озера.

*Кривая расхода через проток за вычетом
постоянной части расхода (5)*

Эта кривая представляет кривую (2), из ординат которой вычтена величина постоянной части расхода через проток. Она наложена (выше оси абсцисс) на прямую постоянного расхода (3).

Кривая (5) представляет кривую, сходящуюся на нет при $t = \infty$. Она дана лишь за время работы насосов.

Сплошной линией показан фактический график, а пунктиром участки, соответствующие пунктирным участкам лимниграмм.

Если брать ординаты кривой (5) до оси абсцисс, то получим полный расход озера.

Эти ординаты будут равны сумме ординат расходов через проток и откачек насосами.

Кривая интенсивности сработки и восстановления озера (6)

Интенсивность сработки озера выражена в м³/с. Она получена по формуле $\frac{56.000 \cdot 0.1}{600 t} = \frac{9,33}{t}$ м³/с, где t время, определяемое по лимниграммам в пределах каждых 10 см. кривой понижения и восстановления уровня озера.

t берется непосредственно из графика и дано в м/м.

Как было указано выше, эта же кривая является одновременно и дифференциальной кривой, определенной по кривой спада и восстановления уровня озера.

Для тех частей лимниграммы, которые не пересекаются горизонталями, проведенными через каждые 10 см (что приходится на участки верхнего и нижнего перегиба лимниграмм) ординаты интенсивности сработки озера исчислены

для каждого случая индивидуально по формуле $\frac{56.000 \cdot h}{600 t}$,

где h толщина слоя воды в метрах между двумя выбранными точками лимниграмм, а t —горизонтальная проекция расстояния между теми же точками, взятая в м/м.

Кривая интенсивности сработки и восстановления (6), представленная выше оси абсцисс, дает зависимость указанной интенсивности от времени, а представленная ниже оси абсцисс — в зависимости от глубин (рис. 59). Это значит, что ордината интенсивности сработки, относящаяся к какой-либо точке a лимниграммы, равная по величине h , отложена по горизонтальному направлению на высоте точки a и равна ординате h' .

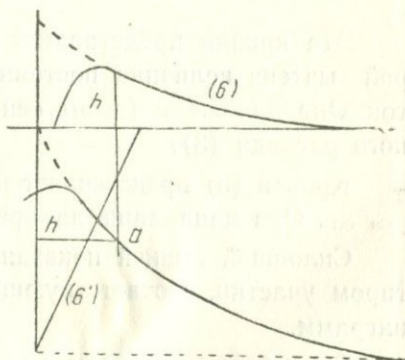


Рис. 59. Графическая связь лимниграмм с интенсивностью сработки озера.

Как для кривых, относящихся к прочим случаям, так и в данном случае на кривой (6) имеются пунктирные участки, соответствующие таковым на лимниграммах.

Пересечение кривой (6) с осью ординат дает установившийся горизонт озера.

В том месте, где на лимниграмме имеется перегиб, кривая (3) имеет максимальную ординату.

Это подтверждается тем, что ордината кривой (6) представляет по существу тангенс угла наклона касательной к лимниграмме, а в точке перегиба n наклон касательной достигает максимума.

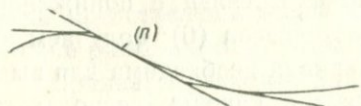


Рис. 60. Максимальный наклон касательной в точке перегиба лимниграмм.

Та же кривая интенсивности сработки озера (6), соответствующая времени восстановления уровня озера, изображена ниже оси абсцисс.

Так как график откачки прерывный, и сработка озера разом, в один момент, сменяется восстановлением уровня, то кривая (6) получает в этот момент разрыв, что и представлено на графиках.

Лишь для 14/VII—1933 г. в связи с тем, что перед пуском всех насосов в течение одного часа работал только 1 насос, лимниграмма показывает плавный переход от восстановления к понижению уровня озера.

Поэтому кривая интенсивности сработки озера (6) здесь условно представлена в виде плавной кривой.

Говорим условно, т. к. прерывность откачки и здесь, очевидно, имеет место.

Пользуясь треугольным графиком интенсивности сработки озера, имеющим ординаты, исчисленные по формуле (для 10 см. слоя),

$$h_1 = \frac{56000 \cdot 0,1}{600 t},$$

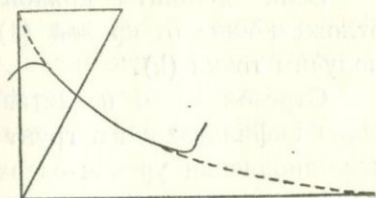


Рис. 61. Случай восстановления «дефективных» лимниграмм.

можем исчислить недостающие значения t . На основании этих исчислений можем дополнить лимниграммы (пунктирные участки), вытягивая их до естественного горизонта, с одной стороны и до установившегося горизонта — с другой (рис. 61).

Кривая сумм поступления воды в озеро в связи с понижением уровня его и сработки озера (7)

Для получения этой кривой суммируем ординаты двух кривых: кривой поступления воды в связи с понижением уровня озера (4) и кривой сработки озера (6); получаем выше оси абсцисс кривую (7). Эта кривая необходима для выделения тех ординат депрессионных вод, каковые располагаются между кривыми (5) и (7).

Ниже оси абсцисс отложены горизонтально на соответствующих горизонтах ординаты кривой (7).

Так как закон изменения расходов поступления в связи с понижением уровня и сработки озера, если их брать в функции от глубины, выражаются прямыми линиями, то и суммарный график (7) получается в виде прямой.

Кривая инфильтрации (8)

Воды, поступающие в озеро по кривой (4) во время приостановки насосов, расходуются, с одной стороны, через проток (кривая 2), с другой стороны — идут на наполнение чаши озера, на поднятие его горизонта.

Если ординаты кривой (6) отложим вниз от кривой (4), то получим точки (k).

Отрезок kp и представляет долю инфильтрации в грунт при восстановлении уровня озера.

Известно, что при восстановлении уровня воды в скважинах непосредственно после откачки уровень воды в скважине под-

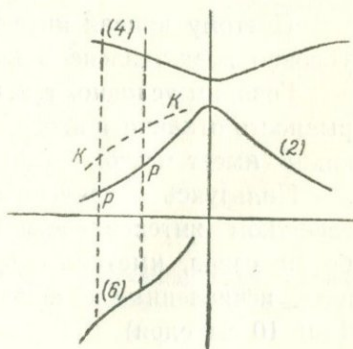


Рис. 62. К вопросу инфильтрации в берега при восстановлении уровня озера.

нимается интенсивней, чем на участках депрессии, отдаленных от скважины. В связи с этим на озере Айгерлич при остановке насосов происходит инфильтрация в берега в горизонтальном направлении, так как, как известно, коэффициент фильтрации при горизонтальном продвижении воды обычно больше, чем при вертикальном.

Кривые расходов депрессионных вод (9)

Кривые зависимости расходов депрессионных вод от времени представлены выше оси абсцисс, а кривые зависимости тех же расходов от глубин представлены ниже оси абсцисс.

Ординаты расходов депрессионных вод получены следующим образом: ординаты кривой интенсивности сработки озера (6) наложены на ординаты кривой напорного поступления и взята разность между общим расходом озера (через проток и насосы) и полученной выше суммой ординат (заштрихованная площадь).

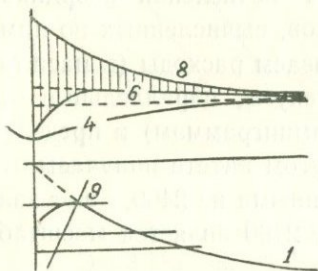


Рис. 63. «Возмущения» в депрессионной зоне при пуске насосов до завершения восстановления депрессии.

Если ординаты заштрихованной площади отложить горизонтально на соответствующей глубине, указываемой лимниграммой, то получим ту же кривую, приуроченную к разным уровням озера.

На чертеже ниже оси абсцисс представлена кривая расходов депрессионных вод (8) для фактических горизонтов озера, и для тех горизонтов озера, которые соответствуют откачке, начинающейся от естественного горизонта ($h = 158$ см). Между последними двумя линиями имеем участок «возмущения» (на рис. 58 14/VII—1933 г. заштрихован).

Участок возмущения соответствует тому отрезку времени, когда процесс восстановления депрессии внутри водоносной породы, не завершившись, внезапно переходит на обратный, т. е. на понижение депрессионной поверхности в связи с пуском в ход насосов.

Для 5—10/XI—1932 г. проведена линия (9) от прямой (7) без показания участка возмущения.

Для 13 и 15 июля 1933 г. кривые (9) не показаны.

Кривая удельных стоков (10)

Кривые удельных стоков даны лишь для 6/XI—32 г. и для 14/VII—1933 г.

Они составлены по данным таблицы 22.

На основании кривой удельных стоков определены фактические стоки, положенные в основу исчисления и построения депрессионных кривых.

Полюсы интегралов (11)

При помощи полюсов интегралов можно исчислить удельные стоки. В тексте приведены исчисления координат полюсов интегралов и удельных стоков, вычисленных по ним.

На вертикальном катете откладываем расходы (в масштабе $1/\text{м}^3\text{с}—50 \text{ м/м}$). Проводим гипотенузы, параллельные отрезкам линии спада уровня озера (лимниграммам) в пределах 10-сантиметровых участков, и на другом катете получаем отрезки в м/м, каковые, будучи умноженными на 2400, дают значения удельных стоков. Коэффициент 2400 является масштабным коэффициентом.

Исчисление его дано в тексте.

В тексте и в табл. 23 приведено определение удельного стока при откачке из озера, когда последние имеют в начале откачки свой естественный горизонт (158 см). Так как лимниграммы начинаются с более низких горизонтов, приходится удельный сток исчислять для отсутствующих горизонтов, пользуясь пунктирными дополнениями лимниграмм.

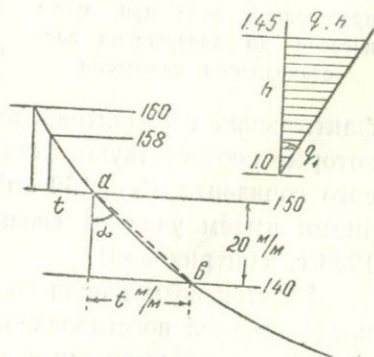


Рис. 64. К восстановлению лимниграмм.

Определение это проведено следующим образом (рис. 64).

Участок 140—150 см. Интенсивность сработки озера для этого участка равна $q, h = 2,18(1,45 - 1,00) = 0,98 \text{ м}^3/\text{с}$. Из формулы для удельной сработки $\frac{56000 \cdot 0,1}{600 t} = Q = 0,98 \text{ м}^3/\text{с}$, определяем значение $t = 9,5 \text{ м/м}$. Наклон линии ab будет

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t}{20} = \frac{9,5}{20} = 0,475$$

Под этим же углом α надлежит провести линию $a'b'$ на графике полюсов интегралов (рис. 65).

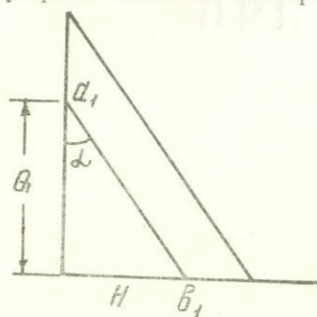


Рис. 65. К определению полюсных расстояний интегралов.

Величина $Q = 1,09 \text{ м}^3/\text{с}$ (табл. 22), в принятом масштабе ($1 \text{ м}^3/\text{с} = 50 \text{ м/м}$), изобразится отрезком в 54,5 м/м, поэтому полюс интеграла (H) будет равен $54,5 \times 0,475 = 25,88 \text{ м/м}$.

Умножая эту величину на 2400, получим значение удельного стока $25,88 \times 2400 = 62.110 \text{ м}^3$.

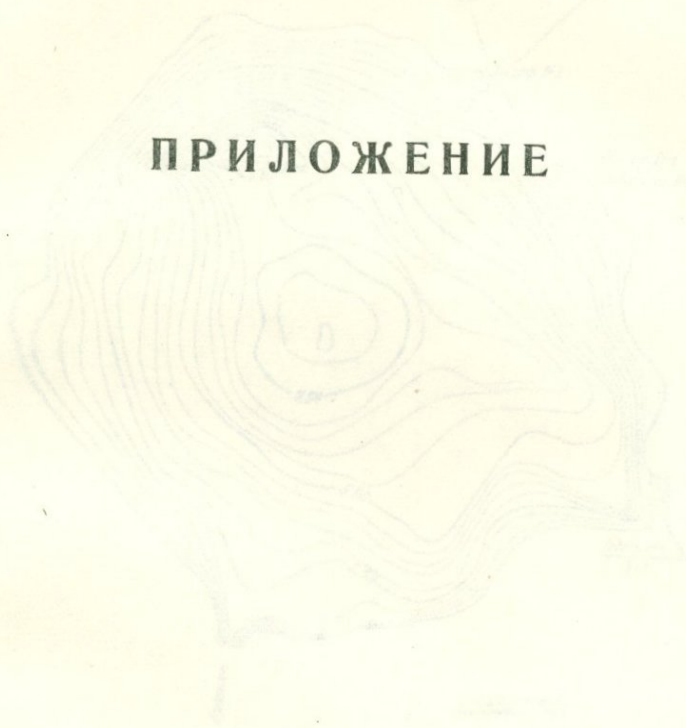
Такой же расчет может быть произведен и для участка 158—150 см. Если исчислим удельный сток для горизонта 155 см., то для значения Q получим величину $Q = 2,18(1,55 - 1,0) = 1,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Для значения t пользуемся обычной формулой $t = \frac{56000 \cdot 0,1}{600 \cdot 1,2} = 7,77 \text{ м/м}$. Тангенс угла наклона при этом будет

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{7,77}{20} = 0,388$$

Полюс интеграла $78,5 \cdot 0,388 = 30,5 \text{ м/м}$.

Так как горизонт доходит лишь до 158 см, значение t будет не 7,77 м/м, а $0,8 \cdot 7,77 = 6,2 \text{ м/м}$, на каковую величину и дополнена пунктиром лимниграмма.

ПРИЛОЖЕНИЕ



Лит. 22. План горы. Высота
Съемка произведена 12-13 октября 1922 г. в 10 часов утра. Высота
с отметкой верха : 441,475 м. (середина 1922 г.)

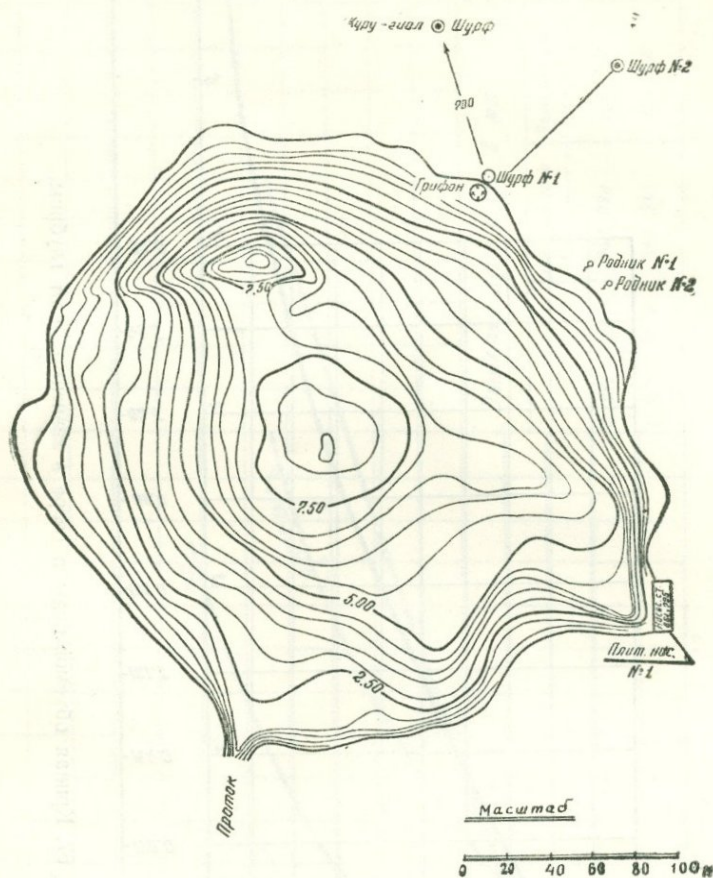


Рис. 66. План озера Айгерлич.

Съемка произведена 12—18 октября 1939 г. при горизонте $h = 1.89$ м.
с отметкой нуля рейки 842,475 м. Сечения изобат через 0,5 м.

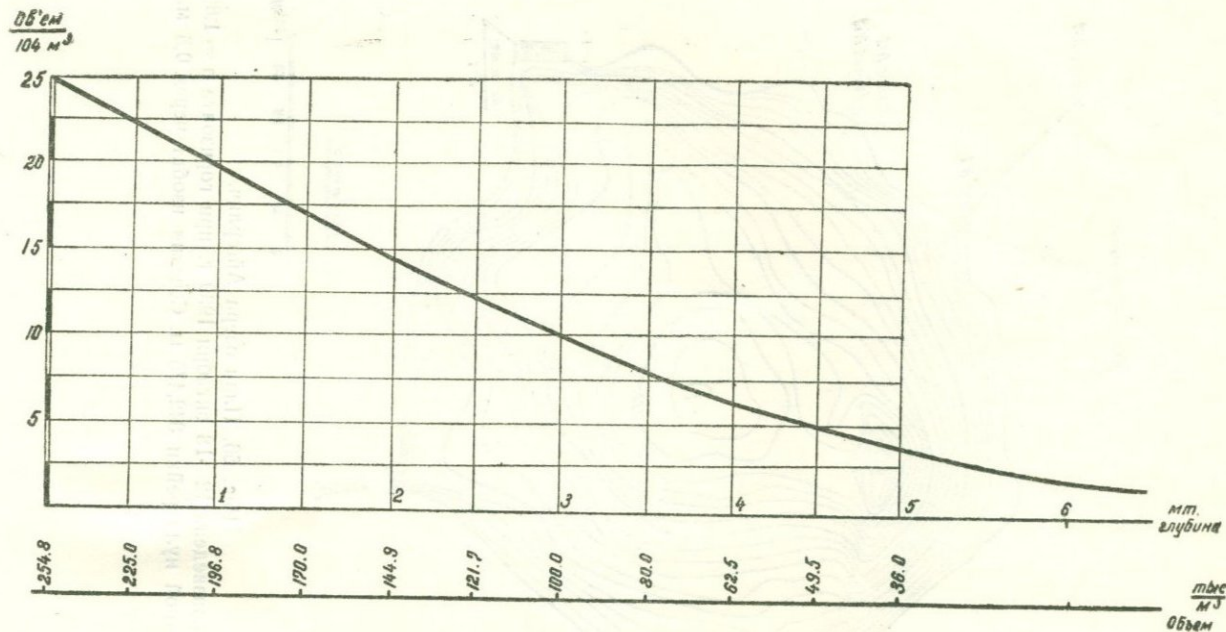


Рис. 67. Кривая объемов воды в озере в зависимости от глубины.

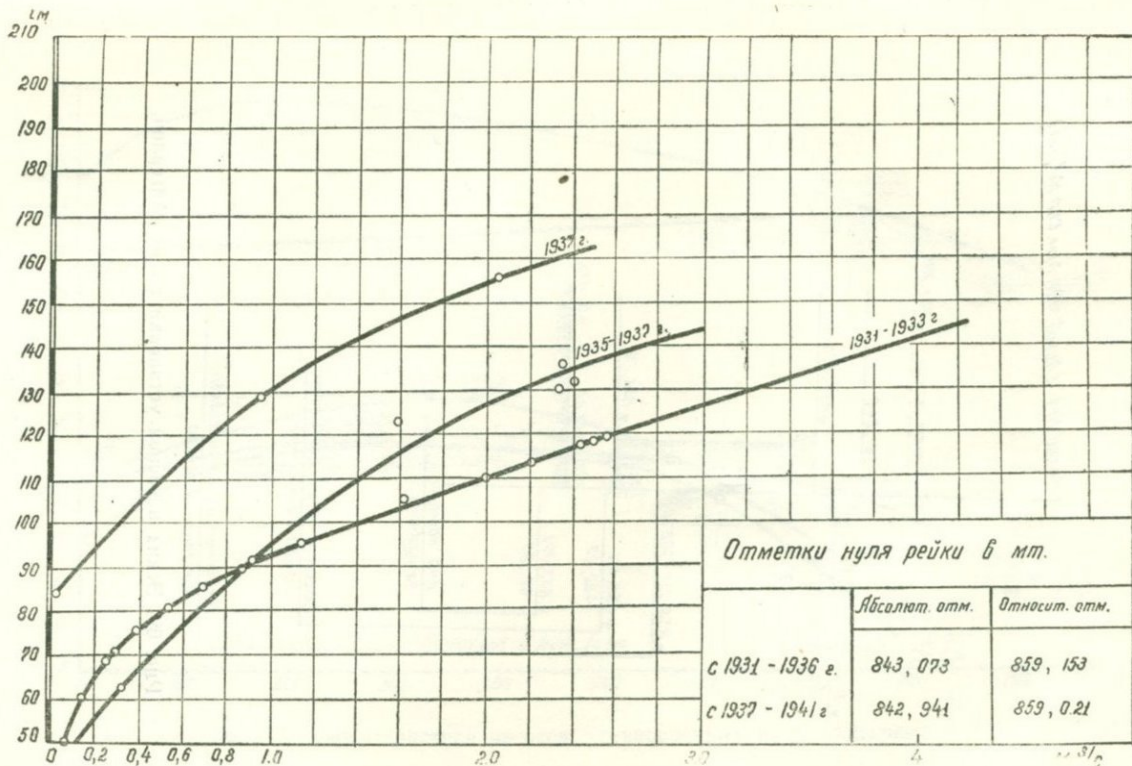


Рис. 68. Кривая зависимости расходов от горизонтов в протоке, $Q = f(H)$.

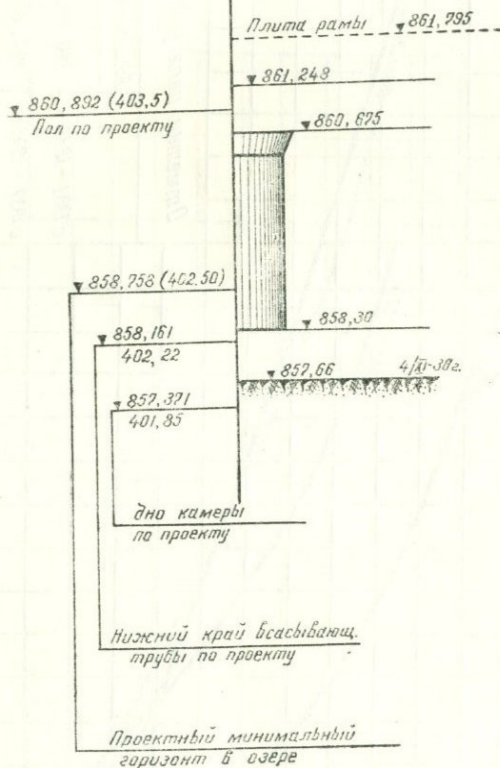


Рис. 69. Эскиз насосной установки на оз. Айгерлич.

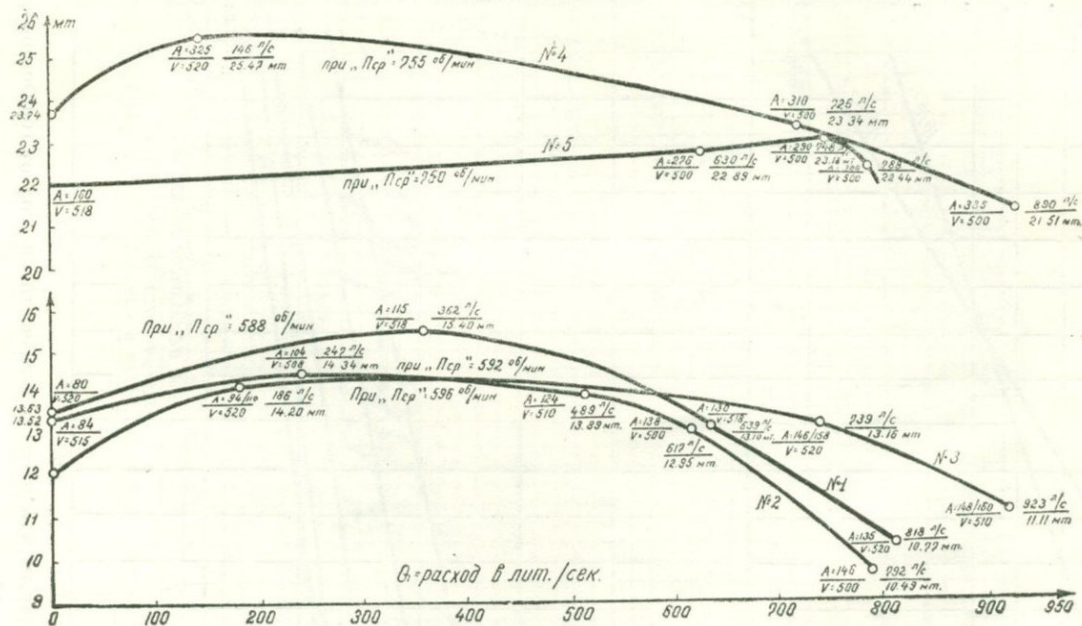


Рис. 70. Характеристики насосов, установленных на оз. Айгерлич.

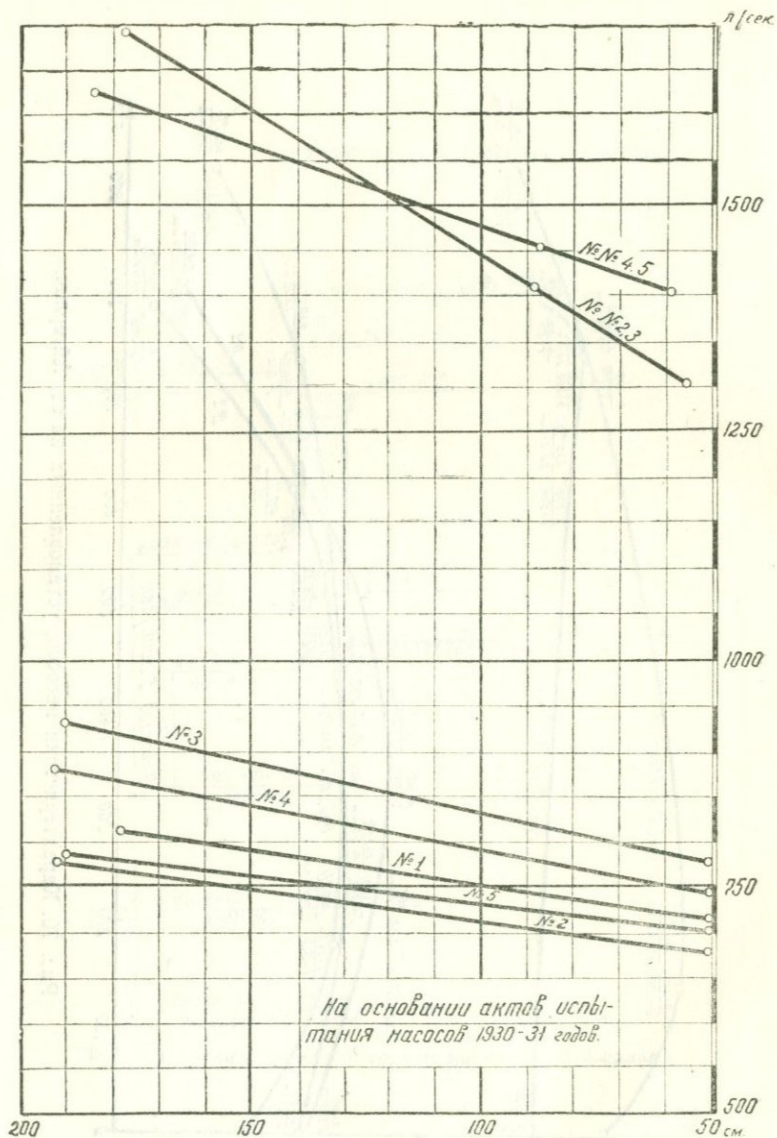


Рис. 71. Зависимость производительности насосов от горизонтов озера.

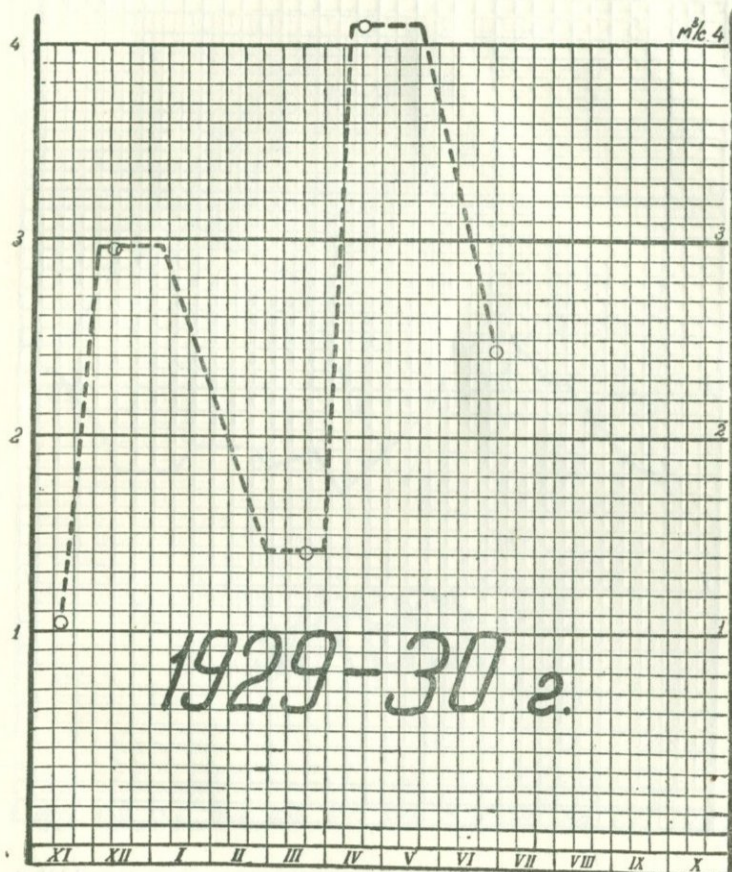


Рис. 72. График дебитов озера в естественных условиях за 1930 г.

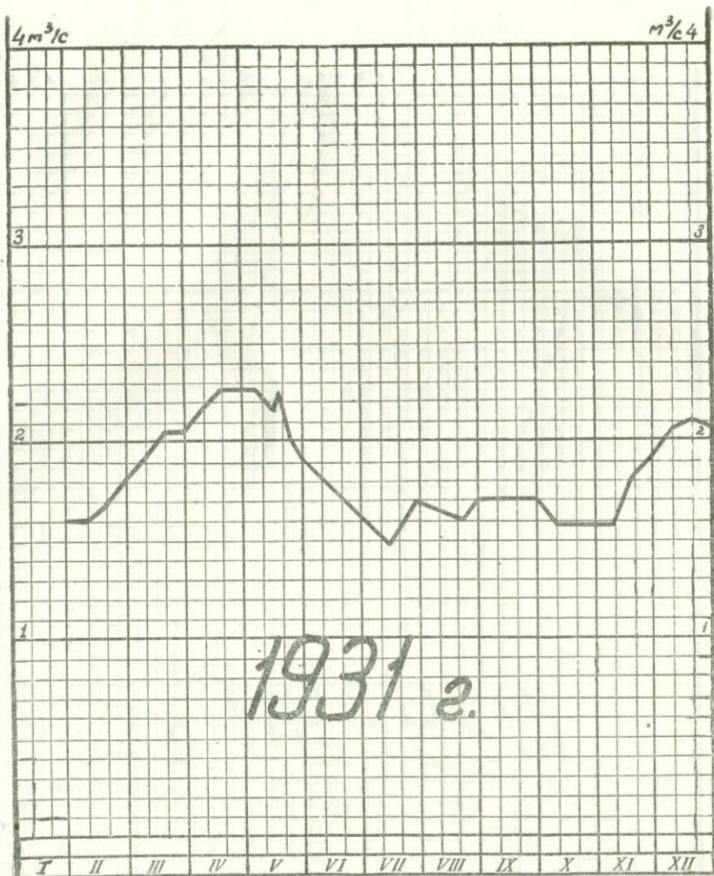


Рис. 73. График дебита озера в естественных условиях за 1931 г.

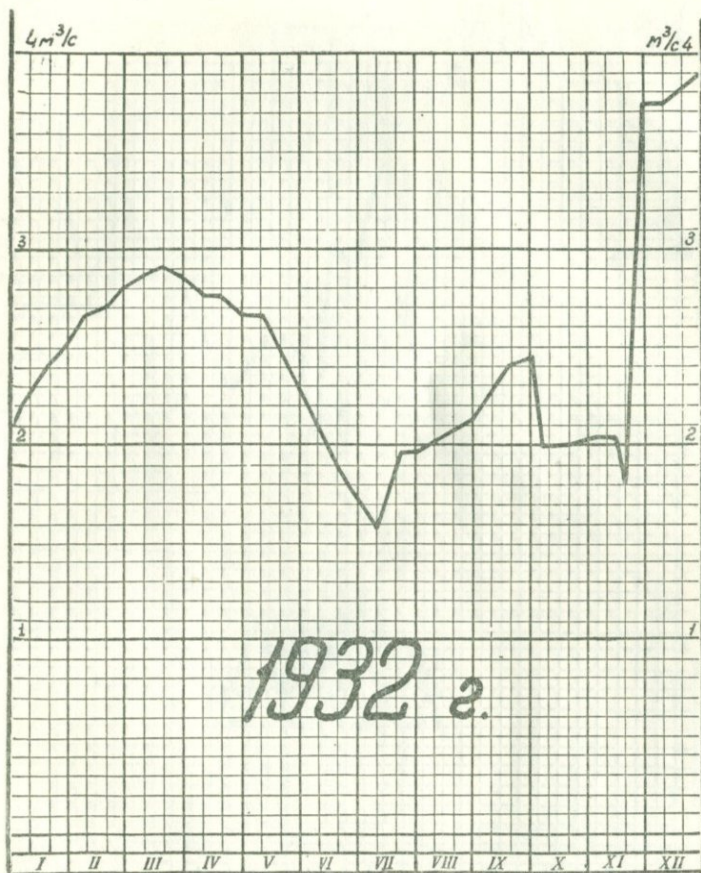


Рис. 74. График дебита озера в естественных условиях за 1932 г.

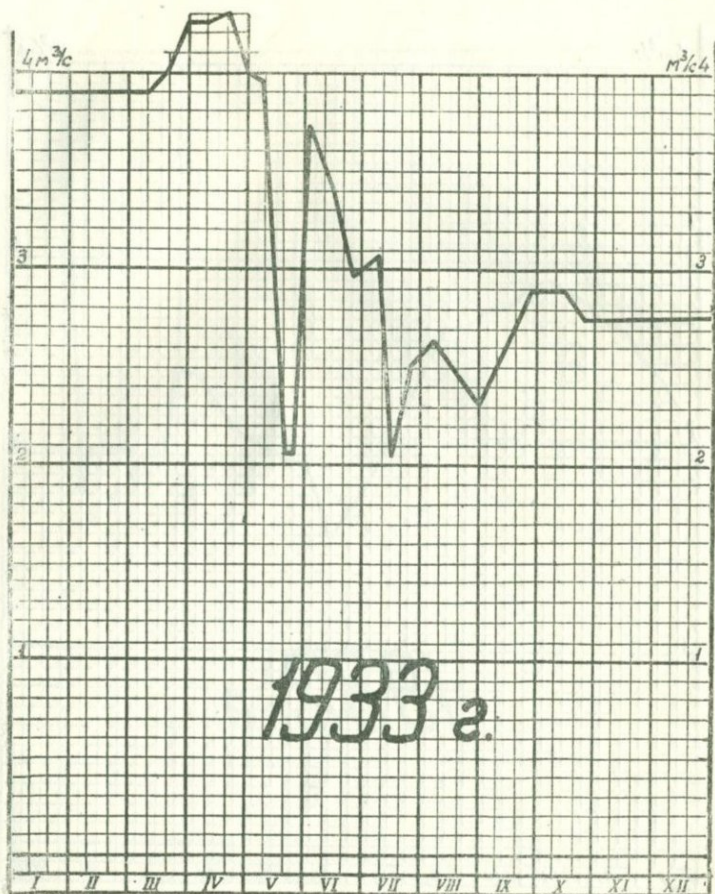


Рис. 75. График дебита озера в естественных условиях за 1933 г.

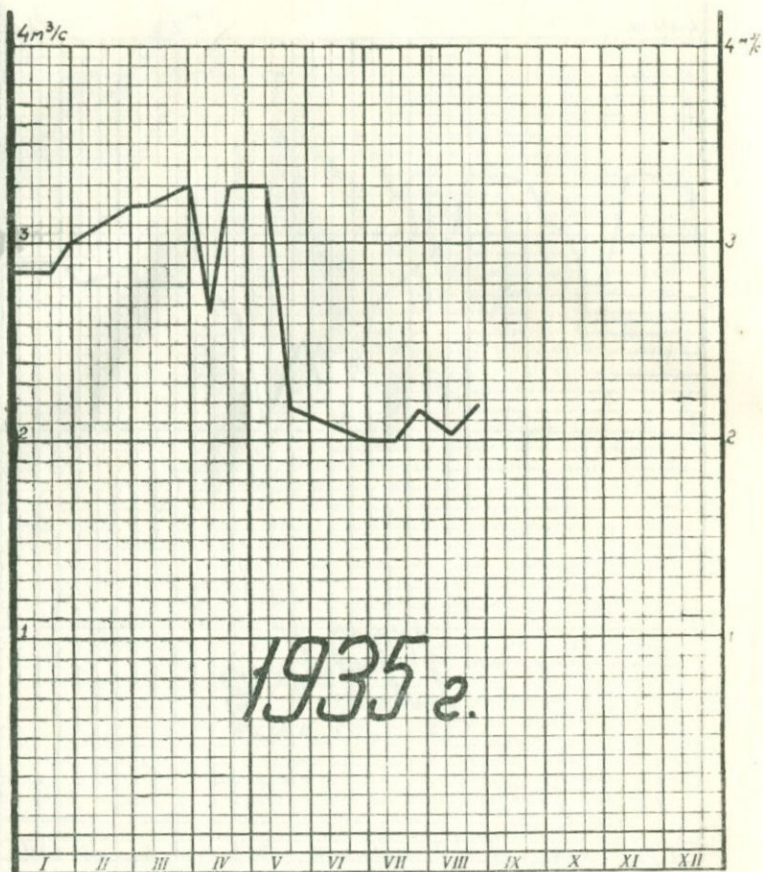


Рис. 77. График дебита озера в естественных условиях за 1935 г.

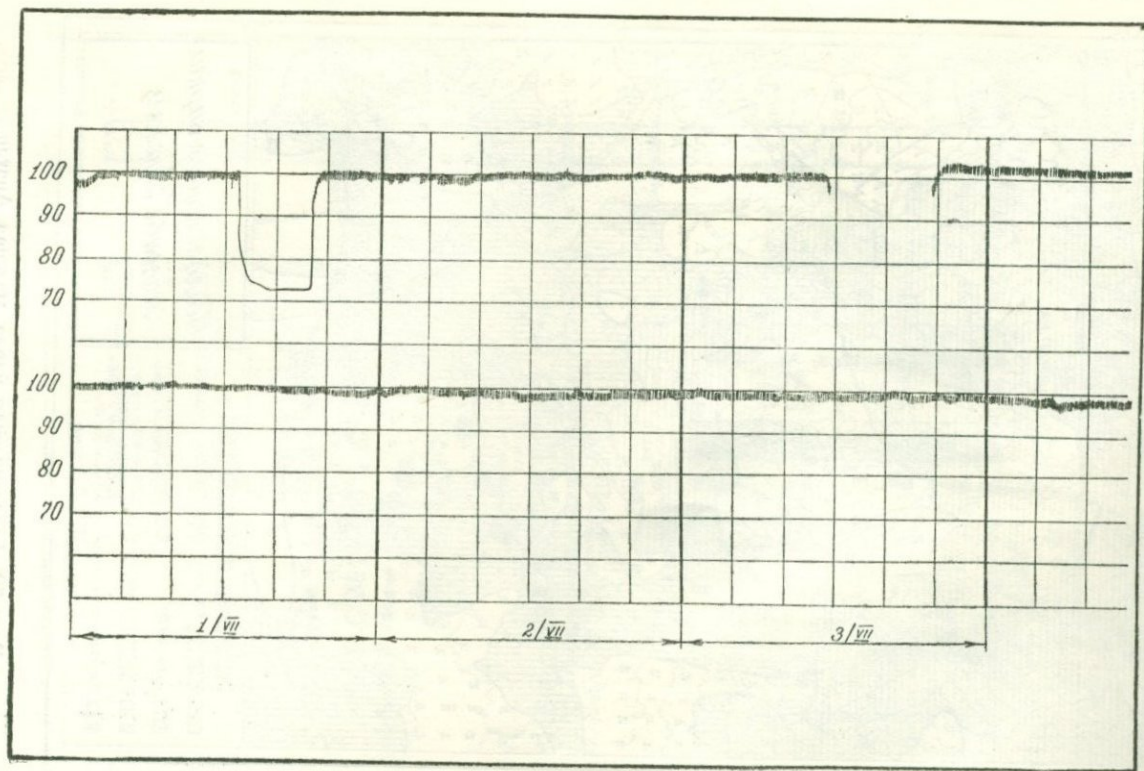


Рис. 78. Лимниграммы нижней трассы Айгерличского оросительного канала за июль 1932 г.

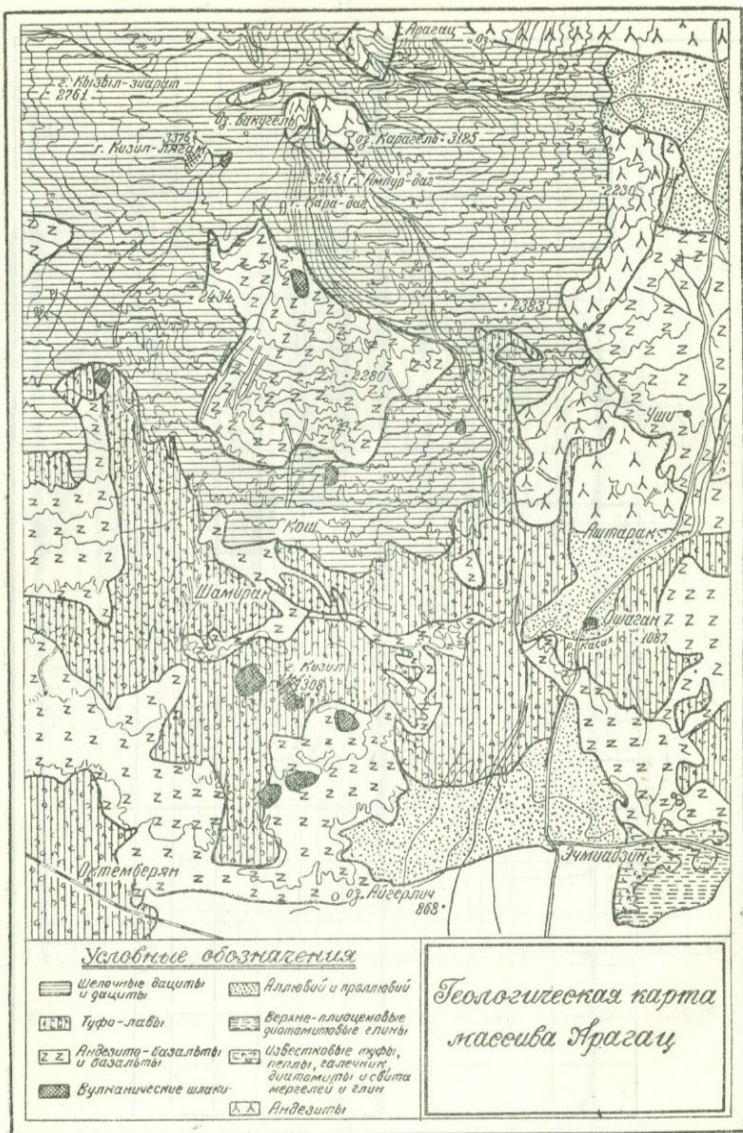


Рис. 79. Геологическая карта массива Арагац

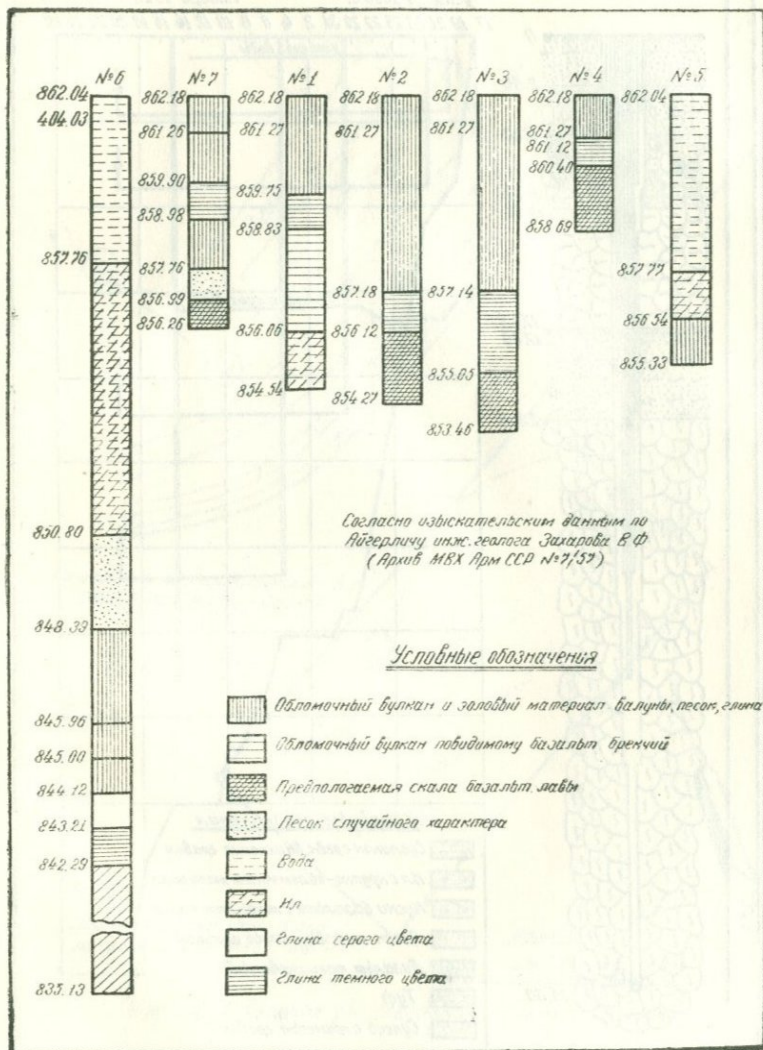


Рис. 80. Разрезы буровых скважин, заложенных на озере Айгерлич.
Отметки условные.

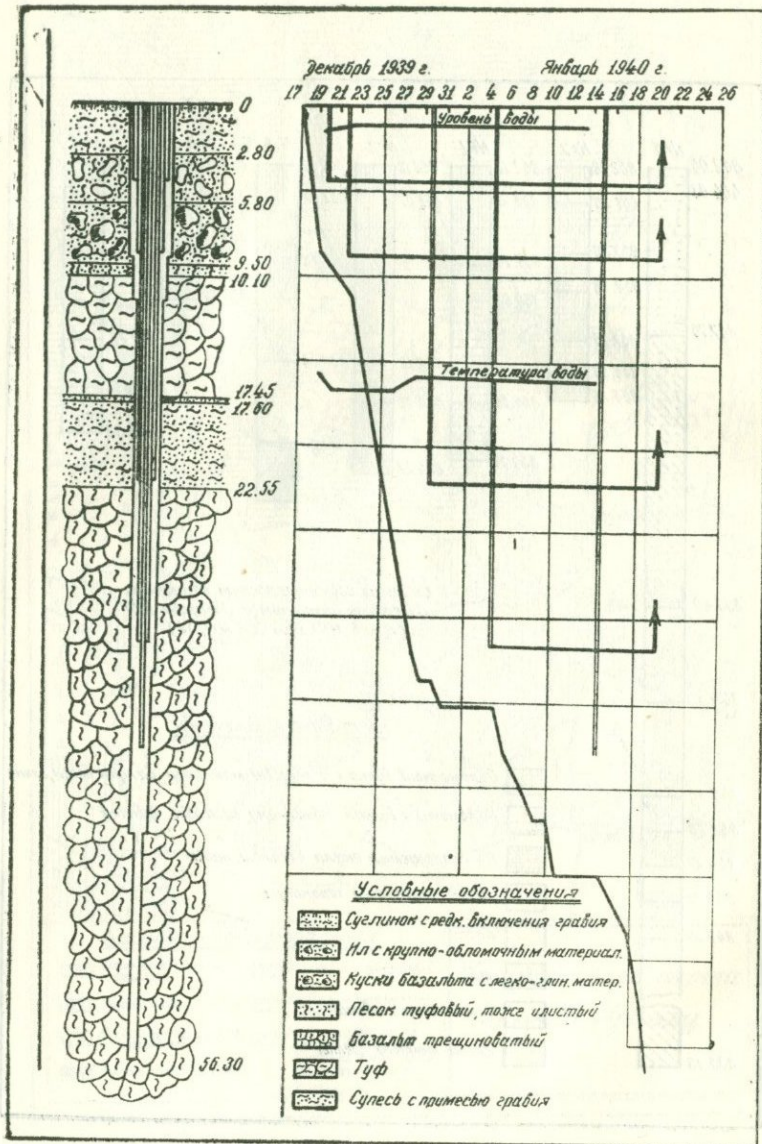


Рис. 81. Разрез буровой скважины, заложенной на берегу озера.

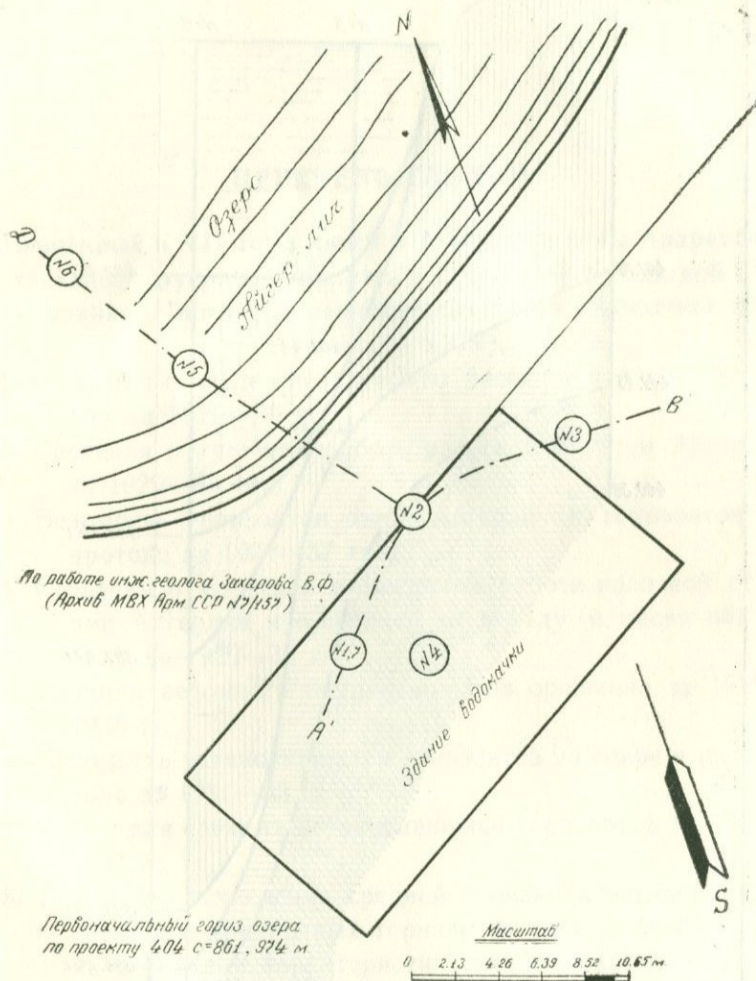


Рис. 82. Плановое расположение буровых скважин.

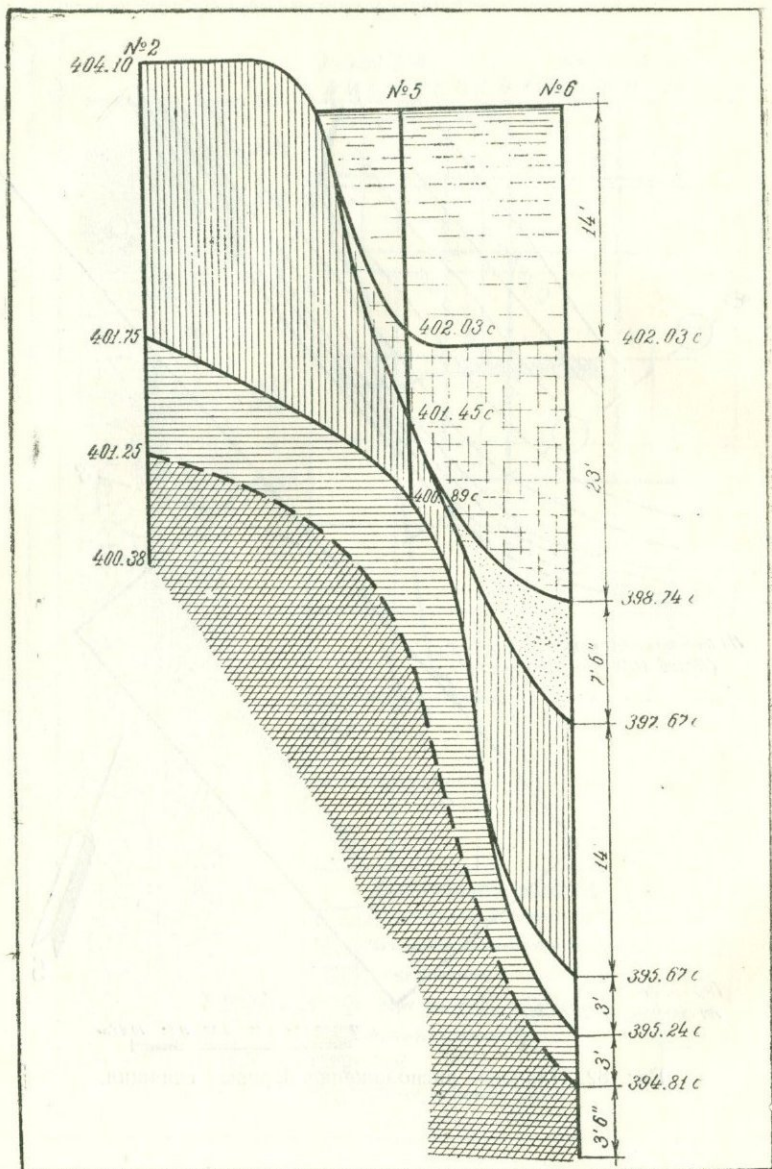


Рис. 83. Геологический разрез по линии 2—5—6.

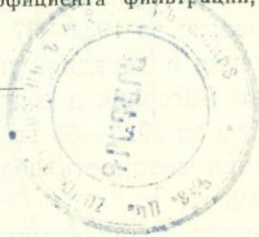
ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ,

помещенных в VII томе книги «Подземные воды Араратской котловины» (рукопись хранится в Геолфонде Армянской ССР и в архиве Института геологических наук Академии наук Армянской ССР).

1. Сведения о числе часов работы насосной станции Айгерлич за 1929—38 гг.
2. Сведения о суточной работе насосной станции Айгерлич за 1929—35 гг.
3. Ведомость горизонтов озера Айгерлич и горизонтов на протоке за 1931—37 гг.
4. Сведения о декадной и месячной работе насосной станции Айгерлич и о средней за декаду и месяц подаче воды за 1929—38 гг.
5. Сводная ведомость подачи воды на орошение за 1929—1938 гг.
6. Ведомость установившихся горизонтов на озере и на протоке за 1931—33 гг.
7. То же для средних установившихся горизонтов за 1934—1937 гг.
8. Ведомости исчисления средней производительности насосов в л/с при разных горизонтах озера, составленные на основании характеристических кривых насосов.
9. Сведения о температуре воды в родниках Айгерлич и в верховьях р. Севджур за 1934, 1935, 1940 гг.
10. Ведомость горизонтов и расходов озера Айгерлич в естественных условиях за 1929—35 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алагез, потухший вулкан Армянского нагорья. Том I и II, Ак. наук СССР, 1931 г.
2. Паффенгольц К. Н. — Геологическая карта массива Алагез.
3. Оганезов Г. Г. — Артезианские воды Карасу — Зангибасара, 1934 г. (рукопись, Геолфонд Арм. ССР).
4. Избаш С. В. — О фильтрации и крупнозернистом материале. Известия н.-и. Института гидротехники, октябрь 1931 г.
5. Великанов М. А. — Водный баланс суши. М., 1940 г.
6. Гиринский Н. К. — Определение коэффициента фильтрации, 1950 г.



ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	5
Предисловие	7
ГЛАВА I. Физико-географические данные по озеру Айгерлич	7
1. Общие сведения по озеру Айгерлич	7
2. Краткие сведения о геологии и гидрогеологии территории, прилегающей к озеру Айгерлич	10
ГЛАВА II. Режим озера Айгерлич	14
1. Изученность озера Айгерлич	14
2. История постов на оз. Айгерлич	16
3. Определение водоотдачи озера	30
4. Удельная отдача озера	35
5. Режим озера во время откачек насосами	41
6. Интенсивность сработки озера	44
7. Воды, поступающие в озеро в связи с понижением его уровня	53
8. Сток от сработки озера	58
ГЛАВА III. Некоторые специальные обработки по озеру Айгерлич	61
1. Учет сил инерции при поступлении воды в озеро	61
2. Динамика депрессионных вод	63
3. Коэффициент фильтрации водоносной породы	86
4. Кривая депрессии	94
5. Активная зона у озера Айгерлич	112
ГЛАВА IV. Сводка основных данных по озеру Айгерлич	114
ГЛАВА V. Пояснения к графикам по режиму оз. Айгерлич	121
Приложение	133
Перечень таблиц, помещенных в VII томе книги «Подземные воды Араратской котловины»	153
Литература	154



Редактор А. АЗАТЯН
Техн. редактор Е. АХИРЯН
Контрольн. корр. Р. МАЛЫЦЕВА

ВФ 05960

Заказ 337

Тираж 1000

Сдано в набор 3/IV 1958 г. Подписано к печати 5/VIII 1958 г.

Бумага 60×92¹/₁₆. Печ. 9,75 л. Уч.-изд. л. 8,6.+3 вкл.

Цена 4 р. 10 к.

Полиграфкомбинат Главного управления издательств и полиграфической промышленности Министерства культуры Арм. ССР,
Ереван, ул. Теряна, 91.

12039