

С. В. ГРИГОРЬЕВ

РЕДКИЙ ПРИМЕР МНОГОКРАТНОЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ОЗЕР-ВОДОХРАНИЛИЩ

Хозяйственная деятельность советских людей оказывает большое влияние на переделку природы. Во многих случаях это относится к водоемам. Примеры перестройки природы водоемов можно найти среди карельских озер. Широкое развитие гидроэнергетического строительства в КАССР и Мурманской области связано с использованием крупных озер в качестве водохранилищ. Первенцем среди больших энергетических водохранилищ в Карелии и на Кольском п-ове является Сандальское. Оно образовано в 1928 г. из крупнейшего в бассейне р. Суны оз. Сандаля для регулирования первой значительной гидростанции в КАССР—Кондопожской ГЭС. Это водохранилище интересно тем, что за 30 лет в процессе эксплуатации оно претерпело несколько изменений, вызывавших каждый раз гидрологическую трансформацию его как водоема. Несколько позднее такую же роль стало играть другое большое озеро того же Сунского бассейна—Палье (или Пальезеро, часто по-старому называемое Пялозеро), тесно связанное гидрологически с оз. Сандаля (рис. 1). Палье также прошло несколько стадий трансформации. Этому редкому примеру многократной трансформации водоемов и посвящается настоящая статья.

1-а. Оз. Сандаля в его естественном состоянии до 1928 г. представляло глубокий водоем площадью $158,1 \text{ км}^2$ ($150,12 \text{ км}^2$ — площадь зеркала)¹. Озеро олиготрофного типа и замыкало собою водосбор р. Нивки-Тивдийки (из Пальезера) площадью 1017 км^2 . Оно давало начало р. Сандалке, вытекающей из юго-западной губы озера (Сопохской). Этой речкой сток бассейна оз. Сандаля поступал в р. Н. Суну (в 20 км от ее устья).

Оз. Сандаля продолговатой формы с лопастным расчленением в южной части. Западная лопасть этой части водоема носит название Сандальской губы. Озеро имеет наибольшую длину $41,7 \text{ км}$, ширину (в средней части) до $7,3 \text{ км}$, глубину, по исследованиям ОНЭ Государственного гидрологического института (ГГИ), в 51 м^* (при средней 10 м) и объем 1852 млн. м^3 .

¹ По данным Олонецкой научной экспедиции (ОНЭ) Российского гидрологического института 1920 г. (Ремезова, 1928); $167,9 \text{ км}^2$ по съемке партии Министерства путей сообщения по исследованию р. Суны в 1911—1912 гг. (Цымбаленко, 1918); $152,4 \text{ км}^2$ — площадь зеркала по „Каталогу озер Карелии“ (Григорьев, Грицевская, 1959).

* 54 м по данным 1954 г. аспирантки отдела гидрологии Карельского филиала АН СССР Г. Л. Грицевской и 58 м по исследованиям 1949, 1954 гг. Карельского отделения ВНИОРХа (Гуляева, 1959). В данной статье приняты цифры ОНЭ, чтобы не усложнять расчетов поправками, не влияющими на принципиальный характер выводов.

При указанной площади зеркала и водосбора удельный водосбор Сандаля равен $6,7 \text{ км}^2$ (на 1 км^2 зеркала), т. е. Сандаль относится к группе водоемов малого удельного водосбора.

Среднеголетний модуль стока бассейна определен в $9,6 \text{ л/сек}$ и объем среднегодового притока в озеро в 308 млн. м^3 , т. е. слой годового притока составляет 1 м.



Рис. 1. Система р. Нижней Суны.

Соответственно малому удельному водосбору Сандаля и слою притока средняя годовая амплитуда колебания его уровня (за 13 полных лет наблюдений на водомерном посту в д. Сопохе) была 42 см при крайнем пределе в 105 см. Следовательно, высота этой среднегодовой амплитуды достигала 40% высоты слоя притока в озеро, а максимальная амплитуда оказалась равной ей.

Показатель условной сменности объема воды оз. Сандаль или отношения объема среднегодового стока из озера к его полному объему составлял $0,17 \left(\frac{308}{1852} \right)$. В этом естественном состоянии озера весь сток его бассейна направлялся сначала вдоль главной оси водоема — от устья р. Тивдийки, затем в Сопохский залив, к истоку р. Сандайки. Юго-восточная часть Сандаля являлась тупиком, не имевшим стока. Можно

считать, что объем воды этой части водоема почти не участвовал в общем водообмене. Этот участок озера к тому же лишен притоков (рис. 2, а).

Объем этой тупиковой части составляет примерно около трети всего объема Сандаля, поэтому можно уверенно считать, что действительный показатель условного водообмена для этой стадии озера

а

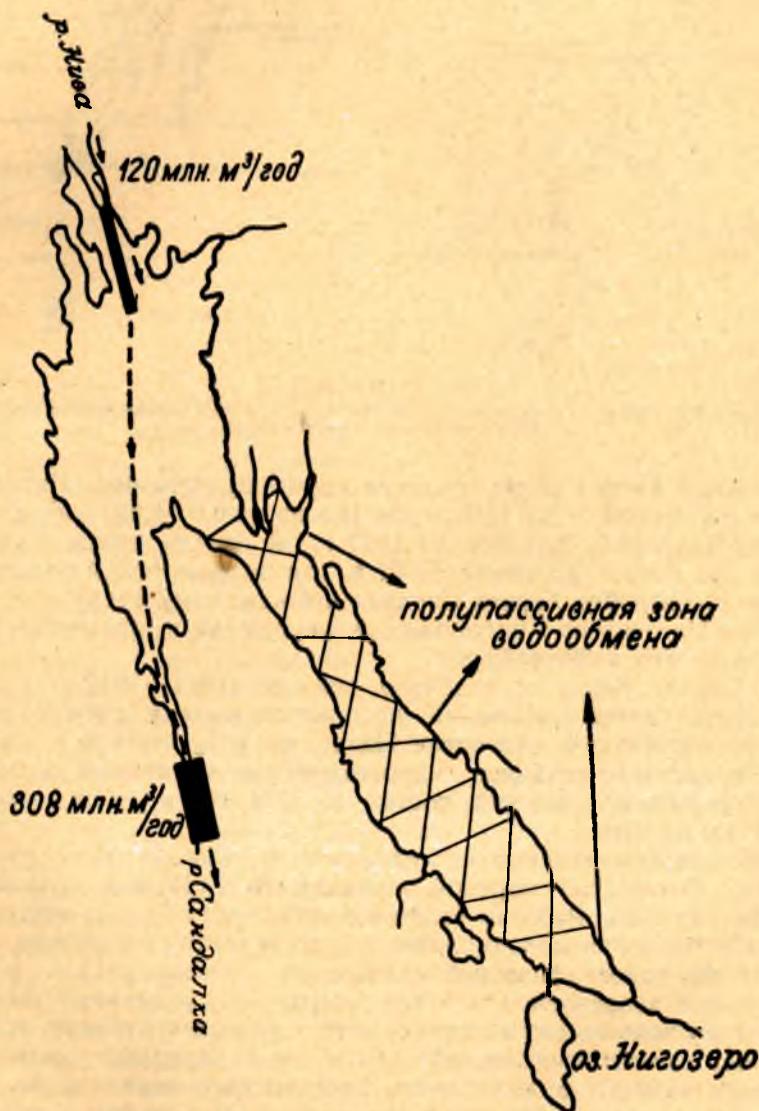


Рис. 2. Оз. Сандаль

а — естественное состояние водоема (до 1929 г.).

был в полтора раза больше выведенного, т. е. около 0,25. Иначе говоря, понадобилось бы около четырех полных лет, чтобы сменить весь объем озера, в условном допущении, что он полностью принимает участие в таком обмене.



Рис. 2. Оз. Сандал

б — состояние в 1929—1936 гг.; б.г — состояние в 1937—1941 гг. (частичный переток сунских вод); г — состояние в 1947—1949 гг. (современное).

В южной части Сандал соединен коротким старинным Нигозерским каналом с небольшим оз. Нигозером [площадь 6,0 (5,99) км², по „Каталогу озер Карелии“], которое до 1929 г. не имело стока. Канал был построен во второй половине XVIII в. для подвоза водой белогорского мрамора с северного берега Сандала к Онежскому озеру (с перевалкой через Нигозерско-Кондопожский перешеек) и дальнейшей транспортировки его в Петербург.

Оз. Сандал было исследовано сначала (1911—1912 гг.) партией Министерства путей сообщений, которая произвела съемку р. Суны и озер ее бассейна, в том числе Пальезера и Сандала и р. Сандалки. Наиболее ценными остались гидрологические материалы наблюдений на постоянных водомерных постах (с 1911 г.) и гидрометрических станций на р. Суне.

Широкие комплексные исследования оз. Сандал были проведены в 1920 г. Олонецкой научной экспедицией ГГИ под руководством Г. Ю. Верещагина. Работам этой экспедиции мы обязаны знанием морфологии и биологии водоема. Эти же исследования показали невысокое качество топографической съемки оз. Сандал 1911 г. и внесли значительные исправления в план озера. По удельному водосбору и условному водообмену на стадии естественного состояния оз. Сандал относилось к немногочисленной группе озер Карелии, у которых эти показатели малы, т. е. к водоемам автохтонного типа режима с незначительным влиянием бассейна водоема на его режим и гидрологические черты.

По характеру проточности оз. Сандал относилось к водоемам с продольноосевой проточностью, но асимметричной (рис. 2, а). Применяя предложенную нами терминологию (Григорьев, 1958), можно считать северную часть Сандала (до створа входа в Сопохскую губу) и самую Сопохскую губу зоной „активного“, а юго-восточную — „пассивного“ водообмена.

По исследованиям ОНЭ, прозрачность воды оз. Сандал летом 1920 г. колебалась в пределах 6,9—9,3 м (по кругу Секки). Цвет воды был серо-сине-зеленый. Вода не содержала гуминовых веществ. Конечно, гидрохимические работы 1920 г. были еще слишком элементарны и не давали полной характеристики водоема. Судить о нем на стадии естественного состояния помогают косвенные данные — озера-аналоги Сандала. Ими могут служить небольшие водоемы на северном побережье Сандала: Рандозеро, Логиламба, Солваламба, в исторически недавнее время составлявшие с Сандалом одно целое (рис. 3). Такими же реликтами прежнего Сандала можно считать полуотчлененные заливы того же северного берега этого водоема (например, Викшаламба), лежащие в стороне от главного потока приточных вод, поступавших и поступающих в Сандал р. Тивдийкой. Это было проверено в 1954 г. аспиранткой Карельского филиала АН СССР гидрологом Г. Л. Грицевской (1958).

По исследованиям Г. Л. Грицевской, воды названных озер были бесцветны, не содержали гуминовых веществ, имели большую прозрачность (5—9 м). Величина минерализации залива Викшаламба определена ею в 62 мг/л. Соли железа в этом заливе не обнаружены. По гидрологическим исследованиям Л. И. Перцевой (Карельское отделение ВНИОРХа) в том же 1954 г., биомасса зоопланктона Викшаламбы оценена в 3,55 г/м³, а биомасса бентоса в 8,8 кг/га. Все эти показатели Викшаламбы как реликта Сандала можно, по мнению названных исследователей, отнести почти полностью к Сандалу времени его жизни до 1928 г., за исключением, вероятно, минерализации, повышенной вследствие влияния близкого к этим водоемам участка осадочных пород — мраморовидных известняков.

Ихтиофауна оз. Сандал, по анкетным данным 1913 г., собранным Олонекским земством¹, была представлена десятью породами рыб, в том числе лососем, форелью, хариусом, сигом, ряпушкой, корюшкой.

1-б. С оз. Сандал соединен другой крупный водоем — оз. Палье (рис. 1). Оно выпускает р. Нивку-Тивдийку, впадающую с севера в оз. Сандал. Подобно Сандалу, Пальезеро в естественном состоянии принадлежало к автохтонному типу олиготрофных водоемов. Его площадь 106,8 км²; площадь зеркала 100,2 км². Максимальная глубина Пальезера еще больше — 74 м, средняя — около 15 м. Полный объем озера приблизительно оценивается нами в 1600 млн. м³. Оно замыкает собою бассейн в 381 км². Отсюда удельный водосбор озера 3,8 км²/1 км² зеркала, т. е. в полтора с лишним раза меньше, чем у Сандала. Объем



Рис. 3. Северная часть оз. Сандал.

¹ Естественные и экономические условия рыболовного промысла в Олонекской губернии. Петрозаводск, изд. Олон. губ. земства, 1915.

годового притока — стока Пальезера с его водосбора — в „средний“ год определяется в 120 млн. m^3 . Показатель условного водообмена водоема 0,08. По этим двум очень низким показателям $\Delta F_{уд. вод.} \leq 5 км^2$ и $\gamma_{вод.} < 0,10$ оз. Палье относится к группе редких водоемов Карелии. Гидрохимические и гидрофизические черты Пальезера и оз. Сандала были весьма сходны. Озеро принимает несколько небольших речек и ручьев, рассеянных довольно равномерно по берегам. Поэтому можно говорить о кольцевой приточности (или близкой к ней) и о неопределенно сложном типе проточности в этом водоеме. Такая приточность и проточность Пальезера отличает его от „старого“ Сандала. В Пальезере трудно выделить зоны „активного водообмена“ и „пассивную“ (рис. 1 и 4 а). Сток идет р. Нивкой-Тивдийкой из юго-восточного конца озера.

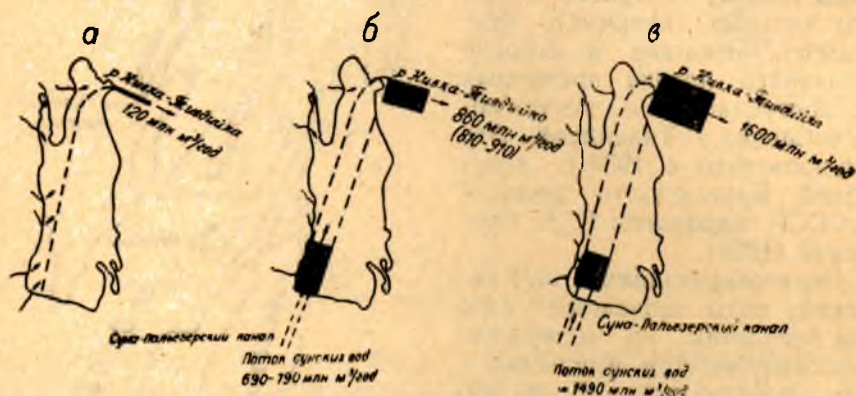


Рис. 4. Оз. Палье

а — естественное состояние водоема (до 1936—1937 гг.); б — состояние в 1937—1941 гг.; в — состояние в 1947—1949 гг. и современное.

Оз. Палье исследовано в 1920 г. отрядом ОНЭ под руководством П. Ф. Домрачева. Домрачев (1929) сделал указанное нами морфологическое описание и дал рыбохозяйственные характеристики озера. Он определяет оз. Палье как глубокий, холодноводный водоем с широким распространением в нем ценных лососевых, например, пальи, давшей имя озеру. По анкетам Олонечкого губернского земства, было установлено бытование в Пальезере 12 пород рыб. Среди них в уловах были ценные: палья, лосось, хариус, сиг, ряпушка, корюшка. Особенно славилось озеро своей пальей.

Естественное состояние Пальезера характеризуется малой годовой амплитудой колебания уровня [по наблюдениям постоянного водомерного поста в д. Карташи за 5 лет (1929—1934, с перерывом в 1933 г.)]. Средняя амплитуда изменения уровня составила 31 см, с колебаниями в отдельные годы от 21 до 40 см. 1935 г., стоящий по многоводности особняком, дал повышенную амплитуду еще „естественного“ Пальезера (65 см), подняв и среднюю годовую за 1929—1935 гг. до 37 см. По нашим давним анализам этой характеристики для ряда водоемов Карелии, такая средняя амплитуда типична для озер с удельным водосбором 5—8 $км^2/1 км^2$ их зеркала.

II-а. После сооружения в 1926—1927 гг. в истоке р. Сандалки плотины у д. Сопохи, а затем Кондопожского канала с ГЭС к 1929 г. весь сток Сандальского бассейна направился уже к южному концу озера. Сопохский залив, закрытый плотиной, превратился в полузамкнутый

участок, „гидрологический тупик“, почти не участвующий в водообмене (рис. 2, б). По проекту предполагалось поднять горизонт озера на 2,5 м (до 64,05 м) и сбрасывать до 62,5 м. Получаемый в этом случае объем в 435 млн. м³, составляя 140% от объема среднегодового притока стока бассейна озера (308 млн. м³), мог обеспечить полное многолетнее регулирование.

Однако участок суши, огибающий оз. Ниго, соединенное каналом с оз. Сандал, не позволял поднять полный подпор Ниго и Сандала. Ограничились подпором до отметки 63,0. Объем регулирования при этом уменьшался до 300 млн. м³ (100% объема среднегодового стока). Это обеспечивало годовое и многолетнее регулирование.

Какие же изменения внесены в характер „нового“ Сандала за этот этап — первый этап как озера-водохранилища?

1. Незначительные морфологические: подпор озера на 1,5 м мало увеличил его площадь (на несколько процентов) и контуры; наибольшая глубина изменилась с 51 до 52,5 м (на 3%), полный объем озера увеличился до $1,86 + 0,240 = 2,10$ млрд. м³ (на 13%).

2. Удельный водосбор не изменился, показатель условного водообмена уменьшился незначительно — с 0,17 до 0,14 — за счет увеличения полного объема „нового“ Сандала.

3. Сохранился тип проточности (продольно-осевой), но ось проточности несколько сместилась к востоку в южной половине водоема; при этом западная часть ее — Сопохская губа — превратилась из зоны активного водообмена в зону пассивную, а восточная часть из пассивной — в активную (рис. 2, б).

4. Новый режим регулирования озера как водохранилища внес коренное изменение в режим уровня: многолетнее регулирование потребовало широкой сработки озера-водохранилища, значительно увеличилась средняя годовая амплитуда колебания уровня.

II-б. Первый этап формирования и первых лет работы Сандальского водохранилища (с 1927 по 1936 г.) никак не сказался на Пальезере. Для него до конца 1936 г. сохранялся естественный гидрологический режим.

Как известно, первая очередь сооружения Кондопожской ГЭС завершилась установкой на ней двух турбогенераторов мощностью около 8 тыс. квт. Сток же бассейна оз. Сандал обеспечивал менее половины этой мощности. Поэтому сразу после пуска ГЭС были начаты работы по увеличению ее мощности при тех же агрегатах путем перепуска части вод р. Суны. Для этого к 1936 г. была построена так называемая Гирвасская плотина на р. Суне и прорыт канал от Суны в оз. Палье. Канал был сооружен с расчетом на перепуск после расширения ГЭС и установки дополнительных турбин до 100 м³/сек воды. Эти работы второй очереди Кондопожской ГЭС были закончены в 1936 г. С осени этого года был начат пропуск сунских вод в систему оз. Палье — Сандал в объеме около $22 - 25$ м³/сек, или 690—790 млн. м³ в год.

III-а. С конца 1936 г. началась первая стадия трансформации Пальезера. Приток в него увеличивается до $4 + (22 - 25) = 26 - 29$ м³/сек, или до $120 + (690 - 790) = 810 - 910$ млн. м³ в „средний“ год, т.е. в 6,7—7,6, или в среднем в 7 раз (рис. 4 б.). Иначе говоря, водосбор Пальезера увеличился почти в 7 раз — с 380 до 2640 км². Следовательно, как бы увеличился и удельный водосбор этого водоема — с 3,8 до 26—27 км². Соответственно ему должна была измениться (уменьшиться) естественная аккумулирующая способность водоема. Ее выражением является величина среднегодовой амплитуды колебания уровня. Действительно, в первый же год наблюдали возрастание годовой амплитуды до 102 см,

а за 5 лет наблюдений (1936—1940 гг. на названном выше водомерном посту Карташи) средняя амплитуда увеличилась до 117 см, т. е. почти в четыре раза против прежнего в „естественном“ Пальезере. За отдельные годы годовая амплитуда изменялась в пределах 102—139 см. Стали изменяться и другие показатели „нового“ Пальезера. Его объем фактически остался прежним, но в 6,7—7,6 раз увеличился объем среднего годового притока в озеро. Соответственно возрос показатель условного водообмена озера — с 0,08 до 0,54—0,60. Водоем переходит к иному типу.

Изменяется и характер приточности и тип проточности оз. Палье. Приток вод его собственного водосбора в объеме 120 млн. м³ происходит по периферии озера, имеет по-прежнему кольцевой характер. Новый дополнительный приток собственно сунских вод, в 5,5 раза больший (690—790 млн. м³), поступает в юго-западный конец водоема, чтобы, слившись с кольцевым притоком собственных вод Пальезера, вытекать из северо-восточного конца водоема. Таким образом, на этом этапе наметился переход к продольно-осевой проточности (рис. 4, б).

Перепуск сунских вод в указанном объеме очень мало сказался на изменении морфометрических характеристик: средний уровень озера повысился незначительно, а с ним и площадь и глубины. Гораздо ощутимее должно было сказаться влияние мощного потока сунских вод на гидрохимические черты Пальезера. К сожалению, химизм вод этого водоема не исследовался как до 1936 г., так и за время первой стадии гидрологической трансформации. В суждении о последней нам может помочь некоторый анализ других данных.

На оз. Палье в его естественном состоянии можно перенести черты естественного Сандаля или черты озер-реликтов его северного побережья: большую прозрачность (не менее 5—6 м), малую минерализацию, бедность биогенного состава.

Воды р. Суны выше Гирваса в последние десятилетия (если не столетия) практически не изменились. Здесь не произошло каких-либо процессов, повлиявших на изменение химизма вод верхнего и среднего течения р. Суны в виде спуска сточных вод промышленности, отвода стока крупных осушительных систем или очень резкого увеличения объема лесосплава. Поэтому можно воспользоваться результатами анализа вод р. Суны выше Гирваса, проведенного в 1954 г. (Грицевская, 1958) и отнести эти характеристики к водам Суны, поступившим в озера Палье и Сандал с 1936—1937 гг. Это гуминовые воды светлорусой или слегка темно-коричневой окраски, малой прозрачности, повышенной цветности и прочими показателями, свойственными им (в питании верхней Суны большое участие принимают болота).

	Суна у входа в Пионер-канал (выше Гирваса)	р. Нивка в истоке оз. Палье	Сандал
Цветность	128°	68°	50°
Железо ($\text{Fe}^{++} + \text{Fe}^{+++}$)	— 0,56 мг/л	0,21 мг/л	0,14 мг/л

Естественно, что поступление в оз. Палье сунских вод в объеме, в шесть раз большем по сравнению с объемом притока вод собственного бассейна этого водоема, должно было повлиять подавляюще на его гидрохимические показатели. Можно полагать, что этот процесс проходил не так быстро; собственно сунские воды проходили локализованным потоком ограниченной ширины, может быть, в сотни метров

с глубиной 10—15 м. В этом нас убеждают результаты исследований, проведенных отделом гидрологии Карельского филиала АН СССР на Петрозаводском заливе Онежского озера в 1952—1953 гг. (К. Д. Машканцева, П. Г. Лобза). Здесь мощный поток вод р. Шуи (в „средний“ год около 3 млрд. м³), впадающий в северо-западный конец этого залива, течет, как оказалось, на первых нескольких километрах струей шириной 700—800 м (не более 1 км весной) и глубиной до 10—15 м, подобно подлинной реке в жидких берегах. Поток шуйских вод увеличивает или уменьшает свое живое сечение то расширяясь и несколько углубляясь, то суживаясь и сохраняя немного меньшую глубину. Это зависит от колебания расхода воды р. Шуи в течение года. Ниже „дна“ шуйского потока и за пределами его полосы уже наблюдаются воды самого Онежского озера, которые по своим химическим характеристикам (содержание железа, цветность и т. д.) отличаются от вод р. Шуи. Это обнаружено проделанными гидрохимическими разрезами. И лишь через 8—10 км этот поток, быстро расширяясь, сливается с водами Онежского озера и теряет свои заметные отличия. К тем же выводам привели гидродинамические расчеты движения шуйского потока, произведенные по методу Н. М. Бернадского (К. Д. Машканцева при консультации проф. Б. В. Проскурякова). Описываемый поток прижимается к западному берегу залива. Следует указать, что притоки самого Петрозаводского залива по своей относительной незначительности (менее 1%) по сравнению с объемом поступающих шуйских вод не оказывают влияния на изложенную принципиальную схему стоковых течений в заливе.

По аналогии с примером схемы проточных вод р. Шуи в Петрозаводской губе Онежского озера можно принять, что поток сунских вод направляется по Пальезеру от юго-западного конца озера к истоку р. Нивки из него на восточном берегу, как это показано на рис. 4, б. При этом он по закону Кориолиса должен несколько отжиматься к западному берегу. Дрейфовые течения ветрового происхождения должны расширять эту полосу сунских вод и, может быть, углублять ее. Кроме того, довольно равномерно распределенные небольшие притоки с объемом вод, составляющим не менее 10—15% объема сунских вод, должны содействовать медленному расширению зоны воздействия последних. Можно допустить, что к концу 1941 г. (начало новой стадии в жизни обоих водоемов) процесс трансформации Пальезера еще не успел захватить всего водоема.

III-б. Третья стадия в жизни Сандаля как озера и вторая как водохранилища (с 1936 г.) внесли значительно большие изменения. Морфологические элементы — площадь, максимальная глубина и, следовательно, объем — практически не претерпели изменений при сохранении того же подпорного уровня, что и в 1928—1935 гг. Изменяется объем среднегодового притока с 310 млн. м³ до $310 + (690 - 790) = 1000 - 1100$ млн. м³, а отсюда и показатель условного водообмена — с 0,17 до $\frac{1000 - 1100}{1860 + 300} = 0,46 - 0,51$, т. е. возрос в 3 раза. Тип проточности (продольно-осевой) сохранился; сохранилось и пассивное по водообмену состояние Сопохской губы. Гораздо энергичнее обозначился водообмен (точнее, сменность объема за счет притока) южной проточной части оз. Сандал. Можно утверждать, что для этой части водоема его местный или частный показатель водообмена стал не менее 0,7—0,8. Иным должен был стать режим колебания уровня Сандаля, что связано с изменением характера регулирования. Полезный объем регулирования Сандальского водохранилища остался прежним — около 250—300 млн. м³.

Объем среднего годового притока увеличился до 1000—1100 млн. м³. Следовательно, коэффициент регулирования (показатель водохранилища) уменьшился со 100% (или 1,0) до $\frac{300}{1000-1100} \cong 0,3 - 0,27$. Такой коэффициент обозначает, что в данном водохранилище в новых условиях возможно лишь годовое или частично неполное многолетнее регулирование. Иначе говоря, полезный возможный (проектный) объем водохранилища должен был ежегодно сбрасываться и вновь наполняться. Поэтому и полная сработка водохранилища с повторным восстановлением предельного уровня в заданных проектом пределах происходила ежегодно.

Внесение в олиготрофное оз. Сандал указанного выше большого объема сунских вод, также как в Пальезеро водного химического типа, начало новую трансформацию этого водоема, не только гидрологическую, но и гидрохимическую. К Сандалу можно отнести все сказанное выше о трансформации Пальезера на эту стадию. Как и в Пальезере, в Сандале возникает новый для озера поток сунских вод. Но направление этого потока делается более определенным, совпадая с направлением большой оси Сандала. Как и на предшествующей стадии жизни этого озера-водохранилища, его западный залив — Сопохский остается полузамкнутым тупиком, участком, пассивным по водообмену. По-видимому, в оз. Сандал процесс подавления олиготрофности сунскими водами происходил быстрее, чем в Пальезере. Особенно это относится к южной, суженной части оз. Сандал (рис. 2, в).

IV. Годы Великой Отечественной войны в Карелии (1941—1944) определили для Пальезера и оз. Сандал новую стадию их гидрологического бытия. Для Пальезера она была третьей, а для оз. Сандал четвертой.

В связи с приближением фронта военных действий Кондопожская ГЭС была демонтирована. Район рассматриваемых озер был временно оккупирован врагом. Гирвасская плотина, построенная к 1936 г. как плотина временного типа, была открыта оккупантами, а верхний бьеф спущен. Отступая, оккупанты разрушили верхнюю часть плотины. В результате была взломана и маленькая плотина, запиравшая исток р. Сандалки из оз. Сандал. Прекратилось поступление сунского стока в Суна-Пальезерский канал. В период 1942—1944 гг. (немного дольше, до восстановления Гирвасской плотины) озера Палье и Сандал стали возвращаться к естественному состоянию. При отсутствии гидрохимических исследований для этого короткого периода (около трех-пяти лет) затруднительно установить, как далеко зашел процесс гидрологической реконструкции этих водоемов. Можно лишь предполагать, что полное восстановление естественного состояния Сандала (до 1927—1928 гг.) и Пальезера (до 1936 г.) не завершилось полностью, а только приблизилось к нему.

V. Этот четвертый период в действительности закончился лишь к осени 1947 г., когда завершилось восстановление Кондопожской ГЭС и ее сооружений. К этому времени мощность ГЭС была доведена до 20 тыс. кВт, а несколько позднее (в конце 1948 г.) до полной проектной мощности. В таком виде гидростанция стала потреблять до 115 м³/сек воды (в часы суточного пика нагрузки).

Перестроенная Гирвасская плотина на р. Суне несколько подняла подпорный уровень ее и направила в Суно-Пальезерский канал и в оз. Палье до 100—120 м³/сек воды. Это было необходимо во время весеннего паводка на р. Суне, чтобы ускоренно проводить наполнение Пальезера и Сандальского водохранилища. По существующей схеме

сооружений теоретически возможно почти весь годовой сток р. Суны ее бассейна, площадью 5700 км^2 , что выше Гирвасской плотины, направлять через оз. Палье в Сандальское озеро-водохранилище для Кондопожской ГЭС. В этом случае объем стока в оз. Палье за „средний“ год мог бы достигнуть $1780 + 120 = 1900 \text{ млн. м}^3$, а годовой приток в оз. Сандал увеличился бы до 2200 млн. м^3 .

Фактически сток несколько меньше этих предельных значений по следующим причинам:

1) Весной паводковые расходы воды р. Суны у Гирвасской плотины достигают $300\text{--}500 \text{ м}^3/\text{сек}$, а Суно-Пальезерский канал может принять не более $120 \text{ м}^3/\text{сек}$. Этим определяется избыточный сток р. Суны порядка $200\text{--}400 \text{ м}^3/\text{сек}$ (в дни максимума паводка), который пропускается через Гирвасскую плотину и уходит к Онежскому озеру, минуя новый водный тракт для сунских вод: оз. Палье — оз. Сандал — Кондопожская ГЭС. Плотина остается открытой до снижения расхода воды р. Суны до $100 \text{ м}^3/\text{сек}$ или даже несколько ниже (в зависимости от состояния наполненности Пальезера и оз. Сандал).

2) После прохода паводка для обеспечения пропуска лесосплава через Гирвасскую плотину по сплавному лотку и далее по р. Суне в летние месяцы приходится ежедневно сбрасывать $5 \text{ м}^3/\text{сек}$ воды и более, т. е. $0,4\text{--}0,5 \text{ млн. м}^3$ в сутки. В отдельные годы по требованию сплавных организаций сброс воды через Гирвасскую плотину достигает 100 млн. м^3 и более.

В результате за год через Суна-Пальезерский канал проходит в среднем около $1500\text{--}1600 \text{ млн. м}^3$ воды. Точный подсчет действительного стока сунских вод в оз. Палье и затем в оз. Сандал довольно сложен. Для наших целей вполне удовлетворительный результат дает расчет годового притока к Кондопожской ГЭС по среднегодовой выработке электроэнергии (120 млн. кВт/ч) и по среднему удельному расходу воды на выработку этой ГЭС 1 кВт/ч . Этот расход в среднем может быть принят в 15 м^3 на 1 кВт/ч соответственно параметрам ГЭС (при напоре $27,5 \text{ м}$). Отсюда объем воды, расходуемой за год Кондопожской ГЭС и пропускаемой через оз. Сандал, $15 \text{ м}^3 \cdot 120 = 1800 \text{ млн. м}^3$. Вычитая среднегодовой сток собственно бассейна оз. Сандал, включая оз. Палье (вместе 310 млн. м^3), можно оценить объем сунских вод, поступающих в оз. Палье, в $1800 \text{ млн. м}^3 - 310 \text{ млн. м}^3 = 1490 \approx 1500 \text{ млн. м}^3$. Объем стока вод, получаемых Пальезером, определяем в $1490 + 120 = 1610 \approx 1600 \text{ млн. м}^3$.

Как же изменяются гидрологические показатели Пальезера и оз. Сандал в новых условиях (с 1949 г.)?

Объем воды самого Пальезера остается практически неизменным — 1600 млн. м^3 . Следовательно, показатель условного водообмена „нового Палье“ увеличивается до $\frac{1600}{1600} - 1$, т. е. возрос в 13 раз по сравнению со „старым Палье“.

Еще резче, чем на первой стадии, выражена продольно-осевая проточность: вход в озеро основного потока — сунских вод с юго-западного конца, выход — из северо-восточного (рис. 4, в). На этом этапе особенно сильно обозначился переход Пальезера от автохтонного типа к аллохтонному с изменением удельного водосбора озера. Новый объем среднегодового притока Пальезера — 1600 млн. м^3 соответствует при модуле стока $9,6 \text{ л/сек}$ (сунского бассейна) водосбору $\frac{1600 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{31,54 \cdot 10^6 \cdot 9,6} = 5250 \text{ км}^2$ и удельный водосбор $50\text{--}52 \text{ км}^2$, т. е., как и показатель условного водообмена, увеличился в 13 раз.

Поток сунских вод в этой стадии по среднему годовому объему превышает объем приточных вод собственного водосбора Пальезера уже почти в 14 раз ($\frac{1500}{120}$) и, следовательно, определяет и химические черты и режим его вод. Этот поток в два раза мощнее по сравнению с объемом тех же сунских вод первой стадии. Можно полагать, что увеличенной мощности потока сунских вод (рис. 4, в), химически более однородного, на этой стадии соответствует и большая ширина и глубина или зона активного водообмена. Можно полагать также, что и на зону пассивного водообмена Пальезера, которая должна занимать северо-западную часть озера (рис. 4, в), в результате дрейфовых течений распространялся процесс смешения пальезерских вод с гуминовыми водами сунского потока. Этот процесс связан с переходом Пальезера из олиготрофного в эвтрофированный тип водоема и проходил, вероятно, с повышенной скоростью.

Этой гидрологической и химической трансформацией водоема на рассматриваемой стадии не ограничилась перестройка его природы. Переход Пальезера ко второй стадии своего состояния (поступление большого объема сунских вод в 1947 г.) несколько позднее (в 1952—1953 гг.) сопровождался еще одним явлением — выносом в озеро тонких песков. Причиной выноса песков послужило сооружение Пальезерской ГЭС в конце Суно-Пальезерского канала. Для сооружения отводящего канала для Пальезерской ГЭС в тонких аллювиальных песках перешейка строители использовали размывающую энергию воды (проект инженера Ленгидэпа Министерства электростанций СССР Г. В. Клишевича).

Вода, пущенная из Суна-Пальезерского канала по прорытому в этих песках маленькому каналу, в течение немногих месяцев размывом превратила его в огромный канал, вымыв до 7 млн. m^3 песка и вынеса его в оз. Палье. Образовавшийся у выхода канала в озеро конус выноса распространился почти на 2 км. Поскольку в истоке р. Нивки-Тивдийки из Пальезера плотины как регулирующего сооружения нет, то оно по-прежнему остается нерегулируемым водоемом полусвободного режима, хотя его не совсем точно называют водохранилищем.

С увеличением нового фактического удельного водосбора Пальезера до 50 $км^2$ повысилась и годовая амплитуда колебания его уровня. За 7 лет (1950—1956) она увеличилась со 117 до 129 см, при колебании за отдельные годы в пределах 90—191 см (за 1936—1940 гг. см. выше).

В послевоенные годы (1950) гидрохимическое исследование Пальезера проводилось Карельским отделением ВНИОРХа (И. В. Баранов), затем дополнительно (в 1954 г.) Карельским филиалом АН СССР (Г. Л. Грицевская). Установлены такие изменения: к 1950 г. прозрачность уменьшилась до 1,2—2 м, цвет воды стал коричневым. Цветность оказалась очень высокой (167° в губе Шеталамбе); железа ($Fe^{++}+Fe^{+++}$) содержалось 0,92 мг/л. По А. Ф. Смирнову, в период с 1936 по 1949 г. значительно изменилась также ихтиофауна Пальезера. Исчезла палья, резко уменьшился вылов корюшки, ряпушки, сига. Исчезновение палы А. Ф. Смирнов связывает с выносом песчаного грунта при размыве Пальезерского отводящего канала и изменением условий нерестилищ этой рыбы в южной части Пальезера¹.

Как же изменились гидрологические показатели оз. Сандал? Объем среднего годового притока в оз. Сандал в 1800 млн. m^3 соответствует

¹ Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959.

фактическому водосбору в 5590 км^2 *. Отсюда удельный водосбор „нового Сандала“ на этом, пятом, этапе увеличивается до 30 км^2 , (на 1 км^2 его нового зеркала).

Полный объем озера-водохранилища составил $1860 + 300 = 2160$ млн. м^3 . Показатель его условного водообмена $\frac{1800}{2160} = 0,83$ — почти такой же, как у „нового Палье“. На этом этапе у оз. Санда, как и у Пальезера, сохранилась продольно-осевая проточность; лучше видно различие между пассивной по водообмену Сопохской губой и активной восточной ветвью южной части озера. Можно утверждать, что для этой части, где проходит весь годовой сток из озера, местный показатель условного водообмена выше 2, так как объем воды здесь составляет менее половины общего объема Санда. Можно также считать, что и активная зона водообмена здесь захватывает большую часть этой ветви (залива) озера.

Характер годового колебания уровня этого водохранилища определяется типом его регулирования. Полезный объем регулирования остался почти прежним — около 300 млн. м^3 , поэтому показатель регулирования при объеме среднего годового притока — стока в 1800 млн. м^3 равен $\frac{300}{1800} \approx 0,17$, т. е. уменьшился по сравнению с третьей стадией жизни оз. Санда более чем в полтора раза. Он показывает, что Сандальское водохранилище может вести лишь годовое регулирование. Другими словами, оно ежегодно опорожняется и наполняется в проектных пределах уровня, т. е. ежегодная амплитуда колебания уровня равна величине его ежегодной сработки (не более 2 м). Действительно, десятилетние наблюдения (1947—1956 гг.) водомерного поста в д. Сопоха показали, что средняя годовая амплитуда равнялась 154 см, при изменении ее в отдельные годы в пределах 68—206 см.

Этот послевоенный период жизни Санда как озера привлек внимание многих исследователей. Его изучением занимались сотрудники Карельского отделения ВНИОРХа И. В. Баранов (1950 г., гидрохимия), А. Ф. Смирнов, А. М. Гуляева (1954 г., ихтиофауна) и Карельского филиала АН СССР Г. Л. Грицевская (1954 г., гидрология и гидрохимия).

Анализ воды оз. Санда в пятой фазе дает следующую картину (характеристики после 1950 г.).

Цвет воды	темно-желтый
Прозрачность	2,2—2,9 м (к 1954 г.); уменьшилась по сравнению с 1949 г. на 1—1,5 м, а по сравнению с 1920—на 4—4,5 м.
Цветность	50° (губа Викшаламба).

По мнению исследователей Карельского отделения ВНИОРХа пропуск сунских вод в Сандальское водохранилище и изменение его гидрологического режима ухудшили условия существования донной фауны зообентоса: сократилось донное население и уменьшилась кормовая база бентосоядных рыб. По А. М. Гуляевой (1957—1958; см. также ее ст. в кн. „Озера Карелии“, 1959), в Сандале изменились уловы

* Прирост водосбора Пальезера $4950 - 380 = 4570 \text{ км}^2$, собственный водосбор оз. Санда с оз. Палье 1017 км^2 . $4570 + 1017 = 5587$, или с округлением 5590 км^2 .

рыбы и их структура. В 1920 г. (Домрачев, 1929) уловы в озере достигали 350 ц (2,3 кг/га), из которых более половины падало на ряпушку и корюшку. К 1937—1939 гг. годовые уловы в среднем достигли 676 ц (4,5 кг/га). Более 80% в улове составляли по-прежнему корюшка и ряпушка. Изменение гидрохимических условий еще не успело сказаться. С другой стороны, вылов был поднят благодаря усилению промысла. Оказал свое влияние также труд рыбоводов (заселение озера в эти годы чудской ряпушкой). В 1945—1948 гг. годовые уловы уменьшились до 296 ц (в среднем 2 кг/га) в основном за счет уловов ряпушки и корюшки. Здесь уже сказалось влияние новых условий на биологию водоема.

Новый режим Сандала после 1947 г. отразился на фауне еще с большей силой. Средние годовые уловы за 1951—1954 гг. упали до 170 ц (1,1 кг/га) главным образом за счет снижения запасов ряпушки и корюшки под воздействием гидрохимического режима и продолжают снижаться дальше (Гуляева в кн. „Озера Карелии“, 1959). Однако из этих цифр рыбохозяйственники не делают выводов о выпадении оз. Сандал как рыбопромыслового участка. Они разрабатывают мероприятия по биологической реконструкции этого водоема, которые могут вновь поднять уловы до 750—800 ц (5 кг/га).

Пройдя сложный путь гидрологической и биологической и даже хозяйственной (энергетической) трансформации, оз. Сандал как водохранилище полностью утратило первоначальные черты олиготрофного водоема и перешло в стадию эвтрофикации.

Какова же судьба этого водоема-водохранилища? Не ожидает ли его новая трансформация, зависящая от изменения форм энергетического использования? На это можно ответить отрицательно. Как последняя вероятная стадия энергетического использования р. Суны и ее бассейна предполагается создание в верхней части этой реки крупного Валазминского водохранилища из группы Верхне-Сунских озер—Гимольского, Ройкнаволоцкого, Кудомгубского, Чудозера и Поросозера. Это водохранилище объемом в 1 млрд. м³ будет регулировать многолетний сток р. Суны. Так, весенние сбросы через Гирвасскую плотину станут незначительными и то в отдельные годы. Оз. Палье будет получать сунские воды более равномерно, но в том же объеме. В результате следует ожидать небольшого уменьшения амплитуды колебания уровня при незначительном понижении верхнего предела уровня этого озера. В таких условиях морфометрические характеристики практически по-прежнему будут изменяться в очень малых пределах. Почти неизменными останутся и гидрологические черты водоема. Может быть, создание Валазминского водохранилища, связанное с затоплением большой заболоченной площади, вызовет усиление поступления гуминовых вод в это водохранилище, а с ним и в озера Палье и Сандал. Однако эти предположения требуют проверки. В общем же оз. Палье на этой последней стадии (уже четвертой) сохранит тот же тип эвтрофизированного водоема и окончательно утратит остатки олиготрофности, если они еще сохранились в северо-западных участках озера. Все сказанное можно отнести и к оз. Сандал как водохранилищу на этой последней возможной стадии. Оно превратится в водохранилище вспомогательного характера годового регулирования с еще меньшими колебаниями уровня при сохранении верхнего предельного подпорного уровня (НПГ). Другими словами, его срабатываемый, регулирующий объем несколько уменьшится (до 200—250 млн. м³.) Это не скажется на гидрологических показателях озера-водохранилища. При сохранении морфометрических характеристик озера

почти неизменными—на уровне современной, четвертой стадии (после 1947—1949 гг.)—и того же среднегодового объема притока сунских вод практически не изменятся и гидрологические показатели. Пока нет оснований ожидать изменений и биологических черт Сандала.

ВЫВОДЫ

1. Хозяйственная деятельность, особенно энергетическое использование озер Карелии в качестве водохранилищ, является могучим фактором воздействия и перестройки природы ее водоемов.

Наиболее яркими примерами могут служить оз. Сандал, используемое с 1929 г. как водохранилище, и связанное с ним оз. Палье.

2. В течение 30 лет своего существования Сандальское озеро-водохранилище претерпело пять стадий состояния и разного типа энергетического использования—от водохранилища многолетнего регулирования до годичного с использованием собственных вод и переброской их из другого бассейна с соответствующей многократной трансформацией гидрологических характеристик и ихтиофауны. Почти то же относится и к оз. Палье.

3. Озера Сандал и Палье в результате их энергетического использования и связанных с ним различных технических мероприятий полностью утратили черты первоначального, олиготрофного типа, превратившись в озера типа, близкого к эвтрофному.

4. Необходимо поставить систематические исследования этих водоемов и наблюдения за состоянием устойчивости их биологии.

ЛИТЕРАТУРА

Берсонов С. А. Водно-энергетический кадастр Карельской АССР. Л.—М., Изд-во АН СССР, 1960.

Верещагин Г. Ю. Предварительный отчет о работах 1920 г. „Тр. Олон. науч. экспед.“ № 68, Пг., 1920.

Григорьев С. В. Водоемы Карелии как энергетические водохранилища. „Тр. Карел. филиала АН СССР“, вып. 18, 1958.

Григорьев С. В. О некоторых определениях и показателях в озероведении. Там же.

Григорьев С. В., Грицевская Г. Л. Каталог озер Карелии. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1959.

Грицевская Г. Л. К гидрохимии водоемов бассейна реки Суны. „Тр. Карел. филиала АН СССР“, вып. 18, 1958.

Гуляева А. М. Рыбохозяйственное освоение Сандальского водохранилища. В сб.: „Рыбное хозяйство Карелии“, вып. 7, 1957—1958.

Домрачев П. Ф. Озера Заонежья. „Тр. Олон. науч. экспед.“, ч. 8, вып. 3, Л., 1929.
Дьяконов А. М. К фауне *Odonata* озера Сандал и его окрестностей. Там же, ч. 6, вып. 1, Пг., 1922.

Естественные и экономические условия рыболовного промысла в Олонецкой губернии. Петрозаводск, Изд. Олон. губ. земства, 1915.

Озера Карелии. Справочник. Петрозаводск, Госиздат КАССР, 1959.

Ремезова М. В. Морфометрия озера Сандал. „Изв. гос. гидрол. ин-та“, 1928, № 22.

Цымбаленко Л. И. Указатель внутренних водных путей исследованных б. Министерством путей сообщений в 1874—1916 гг., т. 2. Пг., 1918.

