

**Клименко Д.Е.**

**Методы расчета  
максимального стока  
до 1919 г.**

Русские люди должны знать и помнить, что сделано предшествующими поколениями, гордиться этим и в свою очередь дать возможность и право потомкам также относиться к ним самим.

*Ю.М. Шокальский*



**КОЧЕРИН**  
**Дмитрий**  
**Илларионович**  
(1889-1928)

«Всякая аналитическая кривая или ее уравнение в известной мере является жесткой для природного явления. Эмпирическая зависимость, данная в аналитической форме, часто превращается у практиков, не имеющих времени размышлять над формулой и справиться о пределах ее действия, в незыблемо точный закон, что влечет иногда к бессознательному применению эмпирической формулы далеко за пределами того района, для которого она получена...»

## **Развитие инженерной гидрологии в Российской Империи, СССР, России**

Пути развития инженерной гидрологии с начала XVIII в. определялись основными (общегосударственными) запросами практики и тенденциями развития экономики:

1. Начало XVIII в. – 1837 г. – гидротехническое строительство, градостроительство;
2. 1837 – 1920 гг. – развитие водного транспорта (в т.ч. пароходного), развитие железных дорог, мостостроение;
3. 1920 – 1960-е гг. – разработка и реализация плана ГОЭЛРО, крупное гидроэнергетическое строительство, индустриализация и движение инженерной мысли на восток;
4. 1960 – 1980-е гг. – гидромелиоративное строительство, развитие трубопроводного транспорта, освоение месторождений нефти и газа;
5. 1980 – 1990-е гг. – реконструкция существующих транспортных и энергетических систем, наращивание их мощностей;
6. 1990 – 2000-е гг. – региональное целевое (по гос. программам) строительство.

## **Характерные черты методов расчета максимального стока в XIX в.**

1. Большинство методов были эмпирическими;
2. Большинство методов опирались на генезис формирования стока половодий и паводков, делались попытки учета пространственно-временной неоднородности полей осадков и факторов подстилающей поверхности;
3. Делались первые попытки математического описания процессов трансформации осадков на водосборах и движения воды по склонам и руслам.

## **Существующие к началу XX в. формулы инженерных расчетов максимальных расходов можно объединить в три группы:**

1. Редукционные формулы, отражающие редукцию модуля максимального стока по площади;
2. Формулы, основанные на редукции интенсивности снеготаяния и осадков по времени (сопоставление статистических параметров по времени с параметрами в пространстве реализуется через теорию эргодичности);
3. Объемные формулы, выражающие характеристики стока в зависимости от объема воды в различных регулирующих емкостях, в связи с продолжительностью и геометрической формой половодья.

## Методы расчета максимального стока в XIX в. за рубежом

Томас Мулвани (1851 г.) в Ирландии выразил максимальный расход соотношением:

$$Q_p = C \cdot A \cdot P,$$

где  $A$  – площадь водосбора,  $P$  – сумма осадков,  $C$  – коэффициент (коэффициент стока).

Позже Куихлинг (1877 г.) в США и Ллойд-Дэвис (1906 г.) в Великобритании получили схожие формулы. Метод все еще используется сегодня (метод SCS TR55, метод ADAS345).

Е. Имбеаукс во Франции (1892 г.) впервые выполнил попытку описания наводнения на р. Дюранс (1882 и 1886 гг.) на основе модели изохрон и кривых добегаания стока.

# Методы расчета максимального стока весеннего половодья в XIX в. в России

Первая в России формула для расчета максимального стока талых вод предложена **А.О. Карачевским-Волк** в 1899 г. Построена по данным 37 пунктов (от Западного Буга до Урала):

$$q_{\max} = \frac{12}{\sqrt{F + 114}} + 0.05 \text{ где } F - \text{площадь водосбора, км}^2.$$

Примерно в это же самое время **Ф.Г. Зброжек** предложил объемную формулу, справедливую для расчетов стока весеннего половодья:

$$q_{\max} = \frac{K \cdot \alpha \cdot H}{T}, \text{ где } q_0 - \text{начальный модуль стока (л/с км}^2\text{); } H - \text{слой талой воды и слой осадков за период снеготаяния (мм); } T - \text{продолжительность половодья (сут.); } \alpha - \text{коэффициент стока; } z - \text{коэффициент формы гидрографа.}$$

В 1907 г. **Ю.В. Ланге** для районов Заволжья предложил редуцированные формулы для расчета максимальных расходов воды весеннего половодья:

$$Q_{\max} = 3.53 F^{0.75} - \text{для залесенных водосборов;}$$

$$Q_{\max} = 1.06 F^{0.75} - \text{для заболоченных водосборов.}$$

Известны также формулы **Р.П. Спаро** и **Г.И. Тарловского** для Тульской и Воронежской областей. Авторы впервые (до Д.И Кочерина) предложили картировать параметры формул.

$$q_{\max} = \frac{A}{\sqrt{F}} \text{ где } A \text{ изменяется от } 0,6 \text{ до } 3,5; n - \text{от } 3 \text{ до } 7.$$



# Методы расчета максимального стока дождевых паводков в XIX в. в России

Внезапность появления стока дождевых вод, редкая расчетная повторяемость таких паводков практически исключают возможность натуральных наблюдений за процессами формирования и транспортирования стока с бассейна. Поэтому многие ученые и исследователи стали искать способы расчета стока в эмпирических и теоретических разработках. Первая эмпирическая формула для определения расхода дождевых вод в России была рекомендована Министерством путей сообщения в 1884 году. В основу формулы были положены характеристики ливня, который наблюдал инженер Кестлин в районе Трансильванских Альп

Формула имела вид

$$Q = 16\alpha F,$$

где  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от длины бассейна;  $F$  — площадь бассейна.

Естественно, что такая формула не могла быть применима для обширной территории России с ее разнообразными климатическими условиями. В 1906 г. Л. Ф. Николаи предложил уточнить формулу за счет введения в нее поправочного коэффициента  $\beta$ , учитывающего уклон бассейна. Формула получила вид

$$Q = 16\alpha\beta F,$$

В дальнейшем учеными было предложено более 300 различных эмпирических формул.



Теоретическое исследование процесса формирования и стекания дождевого стока с использованием математической модели принадлежит Ф. Г. Зброжеку (1901 г.), который схематизировал бассейн в виде двух плоскостей. Наибольший секундный расход Ф. Г. Зброжек рассматривал в зависимости от соотношения между продолжительностью дождя и временем добегания воды от наиболее удаленной точки бассейна к замыкающему створу. Скорость течения воды по склонам и логу Ф. Г. Зброжек получил из уравнения Сен-Венана, тем самым предопределив неустановившийся характер стекания воды с бассейна.

Первую теоретически обоснованную формулу для расчета стока предложил в 1909 году русский инженер путей сообщения Б. А. Риппас:

$$Q = 16,7(a - \Delta)\varphi F,$$

где  $a$  - интенсивность выпадения осадков, мм/мин;  $\Delta$  - интенсивность впитывания воды в почвогрунты, мм/мин;  $\varphi$  - коэффициент стока; 16,7 - переводной коэффициент, учитывающий, что слой стока выражается в мм/мин, площадь бассейна - в км<sup>2</sup>, а расход - в м<sup>3</sup>/с; так как 1 мм слоя стока с 1 км<sup>2</sup> дает 1000 м<sup>3</sup>/мин, то в секунду расход с 1 км<sup>3</sup> будет равен 16,7 м<sup>3</sup>.

Исследования Б. А. Риппаса и Ф. Г. Зброжека легли в основу новой теории стока дождевых вод, разработанной в 1931—1937 годах М. М. Протодьяконовым, который с учетом предложения М. А. Великанова о площади одновременного стока ввел понятие времени добегания, под которым подразумевается время, необходимое для добегания воды от наиболее удаленных точек бассейна до замыкающего створа.





**НИКОЛАИ**  
**Леопольд Федорович**  
**(1844 – 1908)**

## **НИКОЛАИ Леопольд Федорович (1844 – 1908).** Леопольд

Федорович – инженер путей сообщения, учёный в области механики и мостостроения, профессор, директор Петербургского института инженеров путей сообщения ИИПС (1901-1905 гг).

Родился 30 ноября 1844 г. в Ижевске в семье прусского уроженца, исправника Ижевского оружейного завода Фридриха Медоро Николаи.

Окончил курс в 1-й казанской гимназии (1862 г.) и в Казанском университете по физико-математическому факультету (1866 г.), а 1871 г. – Институт инженеров путей сообщения. Первые годы работы прошли на Киево-Брестской и Моршанско-Брестской ж.д. Затем – работа инженером по техническим занятиям в Техничко-инспекторском комитете железных дорог.

В сентябре 1876 г. по решению Конференции ИИПС Николаи приглашен репетитором параллельных классов, а в 1880 г. избран экстраординарным профессором по кафедре «Строительное искусство» по отделу «Мосты».

Одновременно со службой в Институте занимал технические должности в центральном управлении министерства путей сообщения, где до 1892 г. – состоял членом инженерного совета министерства путей сообщения.

В марте 1883 г. Л.Ф. Николаи назначен членом Временного Управления казенных железных дорог, но оставлен и на должности профессора Института. Он принимал участие в работах по строительству Екатеринославской ж. д. и моста через р. Днепр.

В 1901 г. был избран заслуженным ординарным профессором, а в декабре того же года назначен директором ИИПС. В этой должности Леопольд Федорович проработал пять лет.

По инициативе Л.Ф. Николаи Советом Института был принят новый демократический порядок-избрание ректора, проректора и секретаря Совета тайным голосованием. С этого времени на Совет Института возлагалась полная ответственность не только за приведение выборов дирекции, но и за «нормальный ход» учебных занятий.

Много внимания уделял совершенствованию учебного процесса. При нем были открыты четыре новых лаборатории: электротехническая, гидротехническая, аэромеханическая и паровозная, а действовавшие лаборатории - существенно пополнены новым оборудованием. Научная деятельность ученого была связана с вопросами определения максимального сгибающего момента от действующих на балку сосредоточенных подвижных грузов, о давлении земли на подпорные стены, о сопротивлении трубы сплющиванию, об определении напряжений в частях мостовой фермы. Кроме того, им создан курс мостов (1895 г).

Ученый внёс большой вклад в развитие отечественной школы мостостроения. Им опубликовано 27 актуальных научных работ, ряд классических учебных пособий по курсу мостов, которые являлись руководствами не только для студентов, но и для инженеров-проектировщиков мостовых конструкции. Он принимал участие в строительстве Троицкого моста в Петербурге (1903 г.), других мостов и сооружений.

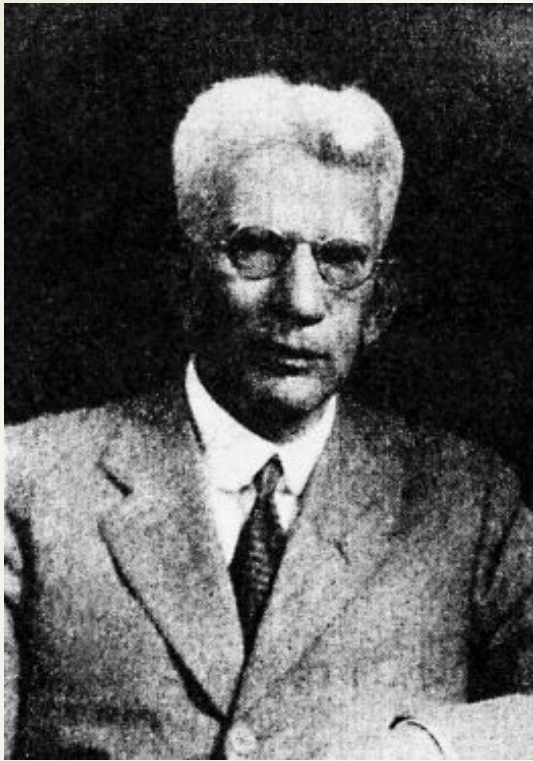
Л.Ф. Николаи умер в Петербурге, состоя на службе, 11 марта 1908 г. Похоронен на Новодевичьем кладбище. Совет Института увековечил его память, присвоив его имя чертежному залу. Учреждена медаль Николаи для инженеров.



**ЗБРОЖЕК**  
**Федор Григорьевич**  
(1849 - 1902)

Инженер-гидротехник; по окончании курса в институте инженеров путей сообщения в 1872 г., поступил на службу в Петербургский округ. С 1878 по 1886 г. состоял начальником царскосельской дистанции, затем заведовал отделением естественных водных путей в департаменте шоссейных и водяных сообщений, а с 1893 г. - вице-директором того же департамента по техническому отделу. В 1899 - 1900 гг. был начальником отдела водяных и шоссейных сообщений.





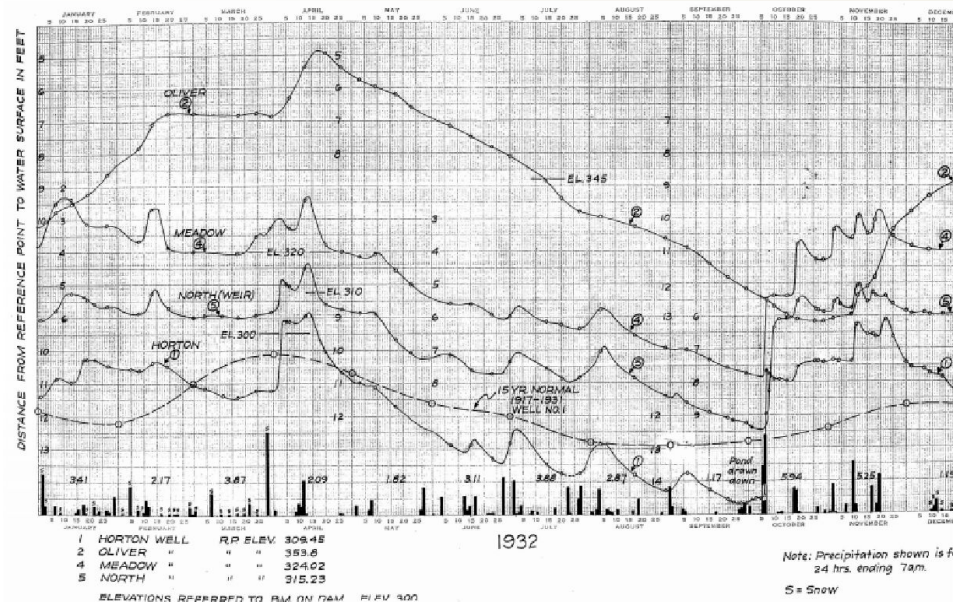
**Роберт Элмер  
Хортон  
(1875 - 1945)**

Роберт Элмер Хортон (18 мая 1875 - 22 апреля 1945) был американским экологом и почвоведом, который, как полагают многие, был отцом современной гидрологии.

Родился в Парме, Мичиган, окончил из Альбион-Колледж в 1897. После окончания учебы работал в проектной фирме своего дяди Джорджа Рэфтера, выдающегося инженера-строителя США. В 1900 г. он был назначен нью-йоркским Окружным Инженером Геологической службы США.

Р. Хортон установил, что интенсивность почвенного стока зависит не только от интенсивности дождя, но и от свойств почв, названных им "проницаемостью". Он проанализировал и разделил водный цикл на процессы проникновения, испарения, перехвата, испарения, сухопутного потока, и т.д.

В мировой гидрометеорологической науке Хортон известен исследованиями максимального стока и последующих наводнений. Его понятие максимального возможного ливня имело значительное влияние на развитие методологии инженерных расчетов в США.







**ДОЛГОВ**  
**Николай Емельянович**  
**(1871–1919)**

## **ДОЛГОВ Николай Емельянович (1871–1919).**

Инженер путей сообщения, изобретатель. Создал первый отечественный путеизмеритель и ряд других измерительных приборов. В 1913-1915 гг. совместно с инженером Оводенко построил первый путеизмерительный вагон. Предложил оригинальную конструкцию железнодорожного пути (путь Долгова) на железобетонном подрельсовом основании.

По окончании Петербургского университета (1894 г.) и Института инженеров путей сообщения (1899 г.) работал на изысканиях и постройке ряда железнодорожных линий (Оренбург–Ташкент, Витебск–Жлобин, 2-й Екатерининской). В 1904 г. назначен на должность начальника участка службы пути, в 1912–1916 гг. возглавлял службу пути Екатерининской железной дороги; в 1917 г. руководил строительством железнодорожной линии Мерефа–Херсон. Работал главным образом над вопросом деформации пути под влиянием ливней и оползней, а также над вопросом снегозащиты железнодорожных линий. В 1907 г. основал на участке Екатерининской железной дороги в районе ст. Полога обширную дождемерную сеть, организовал непосредственные наблюдения за стоком ливневых вод и явился первым исследователем явления стока в природной обстановке, что положило начало капитальным исследованиям ливневого стока в России. Разработал теорию стока ливневых вод, дал метод и нормы расчета водопропускных сооружений и наполнения прудов для условий юга Европейской России. Сконструировал несколько гидрометеорологических приборов. Разработал проект шлюзования Днепра и использования его вод для орошения.

**РИППАС БОРИС АЛЕКСАНДРОВИЧ (1844 – 1917).** Родился в 1844 г. Инженер путей сообщения, тайный советник (1901 г). Окончил ИИПС в 1864 г.

В 1870-х гг. – инженер на строительстве Уральской горнозаводской железной дороге, в начале 1890-х гг. – гл. инженер акционерного общества Рязано-Уральской железной дороги, в 1900-х гг. – чл. комитета упр. железной дороги МПС; чл. инж. совета МПС.

В 1894 командирован для обследования местности предполагаемой трассы Мурманской железной дороги на участке Кандалакша – Кола – Екатерининская гавань, по итогам чего представил отчет, содержащий наряду с профессиональными рекомендациями по прокладке ж.д. описание природы (в т. ч. геол. материал, в осн. по ледниковым отложениям), х-ва (рыбн. промыслы, оленеводство, животноводство, огородничество) и жизни (домостроение, питание, болезни, быт, в т. ч. лопарей) населения, а также план развития Севера. Сторонник сооружения железной дороги и порта силами государства, а не частных предпринимателей.

Побывав на оз. Могильное (о-в Кильдин), обнаружил связь колебаний уровня воды в озере и в море, сделав вывод о проницаемости разделяющей их естественной дамбы и механизме, поддерживающем специфическую расслоенность вод озера по солености. Отчет дважды издавался отдельной книгой (1894 г., 1915 г).

Отец П. Б. Риппаса.

В 1909 и 1917 гг. разработал новые формулы расчета ливневых вод взамен норм австрийского инженера Кестлина, применявшихся до этого при расчетах мостовых отверстий при строительстве железных дорог.

## **КАРАЧЕВСКИЙ-ВОЛК АЛЕКСАНДР ОСИПОВИЧ (1865 – 1942)**

Инженер путей сообщения, гидротехник. Окончил ИИПС в 1890 г. Был начальником технического отдела на железных дорогах, инженером Управления по сооружению железных дорог при Министерстве путей сообщения, после 1917 г. работал в Научно-техническом комитете НКПС. В 1899 г. опубликовал впервые в России формулу для расчета максимальных расходов талых вод: более 40 лет жизни посвятил разработке теории формирования максимального стока талых и ливневых вод и рекомендаций по расчету максимального стока применительно к железнодорожному строительству.



## Выводы:

1. Уже в XIX в. намечены основные направления развития инженерной гидрологии – генетическое и стохастическое (при планомерном накоплении эмпирической информации);
2. До 1919 г. в инженерной практике господствовал генетический подход, базировавшийся на работах Кестлина-Николаи, Долгова-Зброжека-Риппаса, Хортонa;
3. С выделением гидрологии в самостоятельное научное направление (во многом – в связи с организацией Российского гидрологического института) в расчетах стока главенствующую роль приобретают редуционные методы и стохастический подход (одна из первых публикаций – работа американца Хайзена (1914 г.), применившего нормальное распределение к анализу гидрометеорологических процессов);
4. Редуционные методы расчета максимального стока (в т.ч. базирующиеся на теории эргодичности) и вероятностный подход в безальтернативном виде используются в инженерной практике по сей день.

**Благодарю за  
внимание**