



Сборникъ
трудоу исполненныхъ студентами
при
Метеорологической Обсерваторіи
Императорскаго Юрьевскаго Университета.

Издано подь редакціею
проф. Б. И. Срезневскаго.

Томъ IV — 1911.

Испареніе
съ поверхности
рѣчныхъ бассейновъ
Э. Ольдекопа.

Юрьевъ.
Типографія Эд. Бергмана, Ивановская 15.
1911.

Сборникъ

трудоѡ исполненныхъ студентами

при

Метеорологической Обсерваторіи
Императорскаго Юрьевскаго Университета.



Издано подъ редакціею
проф. **Б. И. Срезневскаго.**

Томъ IV — 1911.



Sammlung

von Arbeiten, ausgeführt von Studenten

am

Meteorologischen Observatorium
der K. Universität zu Jurjew (Dorpat).



Redigiert von
Prof. Dr. **B. Sresnewsky.**

Band IV. — 1911.



Юрьевъ.
Типографія Эд. Бергмана, Ивановская 15.
1911.

Э. Ольдекопъ.

Объ испареніи съ поверхности
рѣчныхъ бассейновъ.

Объ испареніи съ поверхности рѣчныхъ бассейновъ.

Э. М. Ольдекопа.

Настоящая работа обнимаетъ лишь часть весьма обширнаго вопроса объ испареніи, а именно въ ней разсматривается общій балансъ круговорота влаги, опредѣляемый соотношеніемъ между осадками, испареніемъ и стокомъ рѣчныхъ бассейновъ.

Считаю тутъ же пріятнымъ долгомъ выразить глубокую признательность проф. Б. И. Срезневскому за внимательное отношеніе къ моему труду, за многочисленныя важныя указанія и, наконецъ, за любезное разрѣшеніе пользоваться книгами его частной библіотеки.

Чтобы избѣгнуть слишкомъ частыхъ указаній въ текстѣ на работы цитируемыхъ нами авторовъ, приводимъ здѣсь литературу, послужившую намъ основаніемъ при разборѣ вопроса объ осадкахъ, стокахъ и испареніи рѣчныхъ бассейновъ. По остальнымъ вопросамъ испаренія мы даемъ литературныя указанія въ текстѣ.

- 1) Penck. Verdunstung und Abfluss von grösseren Landflächen. Geogr. Abh. von Penck. Bd. V. H. 5. 1896.
- 2) Оппоковъ. Режимъ рѣчного стока въ бассейнѣ верхняго Днѣпра и его составныхъ частяхъ въ періодъ съ 1876—1901 г., въ связи съ колебаніями атмосферныхъ осадковъ и т-ры въ бассейнѣ и мѣстными условіями стока. Часть I. Изд. Отд. земельн. улучш. М. З. и Г. И.
- 3) Оппоковъ. Графическое изображеніе общаго хода колебаній осадковъ, испаренія и стока въ бассейнѣ рѣки Эльбы въ Богеміи. М. В. 1903.
- 4) То же о р. Залѣ. М. В. 1902.
- 5) Оппоковъ. Многолѣтнія колебанія расхода нѣкоторыхъ сѣверо-американскихъ рѣкъ. Зап. Имп. Ак. Н. VIII сер. т. XXII. № 6. 1908.
- 6) Оппоковъ. Многолѣтнія колебанія атмосферныхъ

- осадковъ и рѣчного стока въ бассейнѣ р. Огіо и нѣкоторыхъ другихъ Сѣв.-Американскихъ рѣкъ. М. В. 1909.
- 7) Оппоковъ. Коэффициентъ стока на большихъ рѣкахъ etc. Ж. Мин. Путей Сообщ. кн. 5. 1909. Р. 3—15.
 - 8) Оппоковъ. Накопленіе и расходование влаги въ грунтахъ равнинныхъ рѣчныхъ бассейновъ. 1908.
 - 9) Оппоковъ. Къ вопросу о многолѣтнихъ колебаніяхъ стока въ бассейнахъ большихъ рѣкъ и т. д. Ж. Мин. П. Сообщ. 1906. Кн. 7 и 8.
 - 10) Schreiber. Beziehungen zwischen Niederschlag und Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. M. Z. 1904.
 - 11) Schreiber. Beiträge zur meteorologischen Hydrographie der Elbe. Abh. d. Kgl. sächs. meteor. Inst. H. 2. 1897.
 - 12) Schreiber. Niederschlags u. Abflussverhältnisse im Gebiet d. Weisseritz. 1866—1900. Abh. Kgl. sächs. meteor. Inst. 1901.
 - 13) Ule. Zur Hydrographie der Saale. Forsch. zur deutsch. Landes- u. Volkskunde. Bd. X. 1896.
 - 14) Ule. Niederschlag u. Abfluss in Mitteleuropa. Forsch. zur deutsch. Landes- u. Volkskunde. Bd. XIV. H. 5. 1903.
 - 15) Ule. Beziehungen zwischen dem Wasserstande eines Stromes, der Wasserführung und Niederschlagshöhe im Stromgebiet. M. Z. 1890.
 - 16) Ule. Niederschlag und Wasserführung der Flüsse Mitteleuropas. M. Z. 1905.
 - 17) Rafter. The relation between rainfall to run-off (Report of the U. S. Geolog. Survey 1900). Water supply and irrigation paper. № 80.
 - 18) Гейнцъ. Водоносность бассейна верховьевъ Оки въ связи съ осадками. Труды Экспедиции для Изслѣд. источн. главн. рѣкъ Евр. Россіи. 1903. Бассейнъ Оки.
 - 19) Vujevič. Die Theiss. Eine potamologische Studie. Geogr. Abh. von Penck. Bd. VII. H. 4. 1906.
 - 20) Рыкачевъ. Колебанія уровня въ верхней части Волги въ связи съ осадки. Зап. Ак. Наукъ. сер. VIII. т. II. № 8. 1895.
 - 21) Гравелиусъ. Предварительное сообщеніе о результатахъ примѣненія метода г. Рыкачева къ изученію зависимости колебанія уровня воды въ рѣкахъ отъ атмосферныхъ осадковъ. Изв. И. А. Н. сер. V. т. VII. № 4. 1897.

- 22) Keller. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung in Mitteleuropa. Jahrb. für d. Gewässerkunde Nord-Deutschlands. Bes. Mitt. Bd. I. № 4. 1906.
- 23) Keller. Niederschlag, Abfluss u. Verdunstung. Geogr. Zeitschr. 1907. p. 61.
- 24) Hoyt. Comparison between rainfall and run-off in the northeastern U. S.; Amer. Soc. Civil Engin. Transactions. vol. LIX. p. 431.
- 25) Hoyt. Susquehanna River basin. Water supply and irrigation papers. № 109.
- 26) Barrows. Kennebec River basin. Water supply and irrigat. papers № 198.
- 27) Bolster. Potomac River basin. *ibid.* № 192.
- 28) Newell. Progress of stream measurements. *ibid.* № 82.
- 29) Newell. Progress of stream measurements. U. S. Geol. Survey. 14. ann. Rep. part. II. 1892—93.
- 30) Newell. Progress of stream measurements. *ibid.* 20. annual report.
- 31) Wallén. Régime hydrologique du Dalelf. Bull. Geol. Inst. Upsala. 1906. Vol. VIII. № 1.
- 32) Müllner. Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun. Geogr. Abh. Penck. Bd. 6. H. I. 1896.
- 33) Belgrand. La Seine. 1861. Paris.
- 34) Abbot. Rainfall and outflow in the valley of Chagres. M. Weath. Review 1907 (1909).
- 35) Merz. Beiträge zur Klimatographie und Hydrographie von Mittelamerika. Mitt. Ver. f. Erdk. Leipzig. 1907.
- 36) Воейковъ. Regenfall und Abfluss in den Tropen M. Z. 1908.
- 37) Воейковъ. Къ вопросу объ осадкахъ, стокъ, испареніи и сгущеніи воды въ рѣчныхъ бассейнахъ. М. В. 1908.

Сокращенія: М. В. = Meteor. Вѣстникъ, М. Z. = Meteor. Zeitschrift.

Введение.

Влага, участвующая въ общемъ круговоротѣ воды на землѣ, послѣ выпаденія въ видѣ осадковъ на данной поверхности суши, подвергается, какъ извѣстно, различной участи: часть ея стекаетъ, опять возвращаясь въ океанъ, часть же снова испаряется. Соотношеніе между величинами осадковъ, стока и испаренія можетъ быть весьма различнымъ и зависитъ отъ цѣлаго ряда разнообразныхъ условій.

Болѣе подробное знакомство съ отдѣльными фазами этого круговорота влаги, обусловливающаго проявленіе жизни на сушѣ, и о громадной важности котораго было бы излишне распространяться, является необходимою не только для метеорологіи, но и для цѣлаго ряда другихъ наукъ, какъ гидрологіи, климатологіи, ботаники съ физико-географической точки зрѣнія и т. д. Вопросъ о соотношеніи между осадками, стокомъ и испареніемъ не лишенъ интереса и для сельско-хозяйственной метеорологіи, ибо указанное соотношеніе является однимъ изъ важнѣйшихъ факторовъ, обусловливающихъ произростаніе того или иного вида растительнаго покрова въ данномъ климатѣ.

Что касается составныхъ частей вопроса о круговоротѣ влаги, слагающагося изъ конденсаціи и испаренія, то вопросъ о конденсаціи или объ осадкахъ является весьма хорошо изслѣдованнымъ, по крайней мѣрѣ, что касается собранія фактическаго матеріала, свѣдѣній объ осадкахъ во всѣхъ частяхъ свѣта. Не менѣе важный вопросъ объ испареніи является, однако, далеко не достаточно разработаннымъ¹⁾.

1) Примѣчаніе. Что касается вопросъ о стокѣ, представляющемъ третью составную часть, замыкающую круговоротъ влаги на землѣ, то онъ является еще менѣе разработаннымъ, чѣмъ вопросъ объ испареніи. Наблюденія надъ уровнемъ рѣкъ, правда, довольно распространены и, отчасти, обнимаютъ даже значительные періоды времени; но измѣренія величины стока (или т. н. расхода рѣки), безъ которыхъ наблюденія надъ уровнемъ могутъ имѣть лишь очень ограниченное значеніе (см. глава I), принадлежать, въ общемъ, лишь новѣйшему времени, и производятся до сихъ поръ въ далеко не достаточномъ объемѣ. Къ сожалѣнію, весьма отсталою въ этомъ отношеніи является Россія; несмотря на очевидные успѣхи въ разныхъ отрасляхъ сельско-хозяйственной метеорологіи и другихъ родственныхъ наукахъ, практическая гидрологія не вышла еще изъ стадіи первыхъ попытокъ. Изъ остальныхъ странъ выдающееся

Было бы однако неправильно думать, что разработка его находилась совершенно въ пренебреженіи. Вопросъ этотъ всегда живо интересовалъ метеорологовъ, о чемъ свидѣтельствуесть, напр., громадная литература, собранная въ Monthly Weather Review 1909 и 1910 г.; особенно энергично взялась за его разработку сельско-хозяйственная метеорологія въ послѣднее время. Тѣмъ не менѣе общее состояніе вопроса объ испареніи нужно назвать весьма неудовлетворительнымъ. Не смотря на большое число опытовъ, мы еще весьма далеки отъ возможности опредѣлить путемъ вычислений величину испаренія въ зависимости отъ тѣхъ или иныхъ факторовъ. Это относится не только къ испаренію почвы и различныхъ видовъ растительнаго покрова, но даже и къ испаренію свободной водной поверхности.

Изъ опытовъ, произведенныхъ для измѣренія величины испаренія при различныхъ условіяхъ, наиболѣе многочисленны и важны опыты съ эвапорометрами для измѣренія испаренія воды, и опыты съ лизиметрами, для опредѣленія испаренія почвы съ растительнымъ покровомъ или безъ него. Остановимся немного на разборѣ значенія тѣхъ и другихъ опытовъ для интересующаго насъ вопроса.

Законы испаренія свободной водной поверхности, хотя оно является наиболѣе простымъ и доступнымъ математикѣ случаемъ испаренія, нельзя еще считать окончательно выясненными. Объясняется это чрезвычайною сложностью процесса испаренія даже въ этомъ простѣйшемъ случаѣ. Главные факторы, вліяющіе на испареніе воды, слѣдующіе: гигрометрическое состояніе воздуха, температура поверхности воды, скорость вѣтра, содержаніе солей въ водѣ, величина и форма сосуда.

Что касается вліянія первыхъ двухъ факторовъ, то испареніе увеличивается съ возрастаніемъ температуры поверхности воды и уменьшеніемъ влажности воздуха. Послѣдняя величина или гигрометрическое состояніе воздуха, съ

мѣсто, занимають Сосдиненные Штаты. Гидрологическія изслѣдованія (опредѣленія расходовъ рѣкъ), ведущіяся здѣсь съ большою энергіею и въ весьма широкомъ масштабѣ, особенно по почину U. S. Geological Survey, производятся главнымъ образомъ на сухомъ западѣ страны, въ интересахъ искусственнаго орошенія, для опредѣленія имѣющихся тамъ запасовъ воды. О результатахъ этихъ работъ, публикуемыхъ въ Water-supply and Irrigation Papers (U. S. Geological Survey) намъ придется въ дальнѣйшемъ не разъ упоминать.

своей стороны, опредѣляется двумя изъ слѣдующихъ шести величинъ: температура, относительная, удѣльная и абсолютная влажность воздуха, недостатокъ насыщѣнія, гигрометрическое богатство. Такимъ образомъ нужно имѣть въ виду 3 величины: температуру поверхности воды и 2 изъ указанныхъ шести величинъ, относящихся къ воздуху. Обыкновенно, слѣдуя Далътону, считаютъ наиболѣе удобнымъ разсматривать лишь разницу между упругостью насыщеннаго пара при температурѣ поверхности воды и упругостью пара въ воздухѣ, каковую разницу можно назвать недостаткомъ насыщѣнія для температуры воды (эта величина совпадаетъ съ обычнымъ недостаткомъ насыщѣнія воздуха только въ томъ случаѣ, если температура воды равна температурѣ воздуха). Такимъ образомъ при различныхъ температурахъ испареніе можетъ быть одинаковымъ, если только недостатокъ насыщѣнія, благодаря соотвѣтственному измѣненію абсолютной влажности воздуха, остается постояннымъ ¹⁾.

Что касается вліянія вѣтра на испареніе, то нужно думать, что зависимость между ними не будетъ линейною, т. е. возрастаніе испаренія съ увеличеніемъ скорости вѣтра не

1) Примѣчаніе. Замѣтимъ, что, теоретически, при постоянной величинѣ недостатка насыщѣнія, испареніе (мы имѣемъ въ виду чисто диффузное испареніе при отсутствіи вѣтра) зависитъ еще отъ температуры воздуха. Это видно, напр. изъ формулы Стефана (см. стр. 9) гдѣ испареніе пропорціонально коэффициенту диффузіи; послѣдній однако можно считать приблизительно пропорціональнымъ квадрату абсолютной температуры воздуха. Указанное вліяніе температуры подтверждается опытами Müller-Erzbach'a (Zeitschr. für Instrumentenkunde 1890. p. 88—97; Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien. 1901 p. 519—536) надъ испареніемъ воды, производившимся слѣдующимъ образомъ. Подъ большимъ колпакомъ помѣщается, кромѣ сосуда съ водою, еще сосудъ съ концентрированной сѣрною кислотою, для поглощенія паровъ воды; такимъ образомъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ поверхности воды упругость пара равна нулю, и слѣдовательно указанный недостатокъ насыщѣнія для t^0 воды можно считать равнымъ упругости насыщеннаго пара при t^0 воды. Результаты этихъ опытовъ выражаются формулою $E = C \cdot F T^2$; гдѣ E = испареніе; $C = const$; F = упругость насыщеннаго пара при t^0 воды (= недостатокъ насыщѣнія); T = абсолютная температура воздуха. Мы видимъ, слѣдовательно, что испареніе пропорціонально не только недостатку насыщѣнія, по произведенію его на квадратъ абсолютной температуры. Что касается значенія этой поправки въ дѣйствительности, то его нужно считать замѣтнымъ при чисто диффузномъ испареніи, въ предѣлахъ обычныхъ колебаній температуры въ природѣ; при вѣтрѣ же, когда роль диффузіи отступаетъ на задній планъ, вліяніемъ этой поправки можно, вѣроятно, пренебречь.

будеть равномѣрнымъ. При слабомъ вѣтрѣ испареніе возрастаетъ быстрѣе, чѣмъ при сильномъ. Это подтверждается опытами Де-Гина (1891 г.), нашедшаго, что при слабомъ вѣтрѣ небольшое усиленіе его значительно увеличиваетъ испареніе, между тѣмъ какъ дальнѣйшее возрастаніе скорости сильнаго вѣтра уже мало вліяетъ на величину испаренія. Особенно замѣтно вліяніе вѣтра, если для сравненія брать чисто диффузное испареніе, т. е. случай полного отсутствія вѣтра; такъ Гудайль (1885) нашелъ, что вѣтеръ со скоростью всего $0,25 \frac{m}{sec}$ увеличивалъ испареніе почти въ 3 раза. Указанный характеръ зависимости испаренія отъ скорости вѣтра указанъ былъ впервые изслѣдованіями Зворыкина надъ вліяніемъ скорости вѣтра на показанія психрометра. Такого же мнѣнія на вліяніе вѣтра придерживается и проф. Marvin¹⁾. Согласно ему возрастаніе испаренія при слабомъ вѣтрѣ идетъ быстро, при сильномъ вѣтрѣ — медленно; кромѣ того онъ полагаетъ, что при очень сильномъ вѣтрѣ, способномъ вызывать на большихъ водныхъ поверхностяхъ пѣнящіяся волны, возрастаніе испаренія опять идетъ быстрѣе, благодаря тому, что уносимыя вѣтромъ брызги воды замѣтно ускоряютъ испареніе.

Содержаніе солей въ водѣ замедляетъ испареніе. Относительно нѣкоторыхъ необъясненныхъ до сихъ поръ (можетъ быть, только кажущихся) отступленій отъ этого правила см. Срезневскій: Объ испареніи жидкостей (1883 г.). Для морской воды Брикнеръ²⁾ принимаетъ, на основаніи опытовъ Dieulefait, Mazelle и Okada, испареніе равнымъ 95% испаренія прѣсной воды.

Точный законъ испаренія найденъ Максвелломъ и Стефаномъ³⁾ на основаніи теоріи диффузіи пара лишь для частныхъ случаевъ испаренія при отсутствіи вѣтра, т. е. для чисто диффузнаго испаренія. Для круговой поверхности воды, напр., получается по Стефану $E = 4 r \sigma \zeta D \lg nat \frac{B - f_0}{B - f_1}$, гдѣ E = испареніе; r = радіусъ круга; ζ = вѣсь единицы

1) Marvin. A proposed new formula for evaporation. M. W. R. 1909. p. 57—61.

2) Брикнеръ. Почвовѣдніе 1905. p. 184.

3) Стефанъ. M. Z. 1881. p. 177—182. Wied. Ann. d. Phys. XVII. 1882. p. 550—560.

объема воздуха; σ = плотности пара по отношенію къ воздуху = 0,622. D = коэффициентъ диффузіи пара въ воздухъ; B = барометрическое давленіе; f_0 = упругость пара на безконечномъ разстояніи отъ разсматриваемой поверхности; f_1 = упругость пара непосредственно у поверхности воды. При предположеніи, что упругость пара мала по сравненію съ B , получается, по Maxwell'ю, слѣдующая формула испаренія для любой поверхности воды:

$$Q = 4 \pi C \frac{D\sigma}{B} (f_1 - f_0);$$

гдѣ C = емкость поверхности испаренія.

Экспериментальную провѣрку теоріи Стефана для жидкихъ менисковъ даны проф. Срезневскимъ въ указанномъ сочиненіи его: Объ испареніи жидкостей. Интересно, что при чисто диффузномъ испареніи количество испаренія пропорціонально не величинѣ поверхности испаренія, а линейнымъ размѣрамъ ея, что является слѣдствіемъ общей теоремы Срезневскаго (*l. c.*), гласящей, что жидкія тѣла, облеченныя подобными въ геометрическомъ смыслѣ поверхностями, выдѣляютъ при испареніи количества пара, пропорціональныя линейнымъ размѣрамъ системъ. Изъ формулы для круговой поверхности, напр., непосредственно видно, что испареніе пропорціонально периметру круга. Такимъ образомъ съ меньшихъ поверхностей испаряется на единицу поверхности больше, чѣмъ съ большихъ, что объясняется затрудненной диффузіей пара въ средней части поверхности по сравненію съ краями. Сказанное относится къ случаю чисто диффузнаго распространенія пара въ воздухъ. Въ условіяхъ же природы, при вѣтрѣ, когда роль диффузіи отступаетъ на задній планъ, вліяніе величины поверхности на испареніе меньше, но всетаки еще хорошо замѣтно (см. ниже формулу Bigelow p. 17).

Что касается вліянія барометрическаго давленія, то оно и при диффузномъ испареніи, какъ видно изъ приведенныхъ формулъ, въ предѣлахъ обычныхъ колебаній барометрическаго давленія, должно быть незначительнымъ. При естественныхъ же условіяхъ испаренія, какъ показали изслѣдованія проф. Bigelow¹⁾ вліяніемъ барометрическаго давленія можно пренебречь.

1) Bigelow. Monthly Weath. Rev. 1910. p. 308.

Что касается общаго закона испаренія свободной водной поверхности, то почти очевидно, что выводъ его не можетъ основываться исключительно на теоретическихъ соображеніяхъ безъ помощи опытныхъ данныхъ объ испареніи. Чтобы убѣдиться въ этомъ, достаточно указать на то, что распространеніе пара въ воздухѣ становится крайне сложнымъ подъ совокупнымъ вліяніемъ диффузіи, вертикальныхъ и горизонтальныхъ теченій воздуха, причемъ явленіе еще болѣе усложняется волненіемъ поверхности воды и температурными процессами въ водѣ. Выводъ эмпирической формулы съ другой стороны затрудняется слѣдующими обстоятельствами. Точное измѣреніе указанныхъ факторовъ сопряжено съ извѣстными затрудненіями. Какъ мы уже выше указали, необходимо, напр., измѣрять силу вѣтра у поверхности воды; обыкновенно, однако, при подобнаго рода наблюденіяхъ довольствовались показаніями анемометра, расположеннаго на нѣкоторой высотѣ, на которой условія вѣтра могли замѣтно отличаться отъ условій у поверхности воды. Точно также требуется измѣреніе температуры поверхности воды, которая можетъ отличаться отъ температуры нижнихъ слоевъ воды; съ еще меньшимъ правомъ эту температуру можно замѣнить температурою воздуха. Незвѣстнымъ, и весьма трудно доступнымъ опредѣленію опытнымъ путемъ, является законъ убыванія давленія пара, начиная съ поверхности воды, который очевидно играетъ важную роль въ процессѣ испаренія.

Кромѣ указанныхъ обстоятельствъ, при измѣреніи испаренія при помощи эвапорометровъ, нужно имѣть въ виду, что показанія ихъ зависятъ отъ формы прибора и его установки. Мы уже выше указали, что испареніе въ общемъ будетъ происходить быстрѣе изъ приборовъ небольшой величины, чѣмъ изъ большихъ. Поэтому, при прочихъ равныхъ условіяхъ, пловучій эвапорометръ, составляющій часть большой водной поверхности, испаряетъ меньше, чѣмъ эвапорометръ, находящійся на нѣкоторой высотѣ, свободно обдуваемый воздухомъ. Въ послѣднемъ случаѣ воздухъ надъ эвапорометромъ, насыщенный парами, благодаря вѣтру, быстро замѣщается окружающимъ воздухомъ меньшей влажности, между тѣмъ какъ въ первомъ случаѣ воздухъ, приносимый вѣтромъ къ пловучему эвапорометру, уже отчасти насыщенъ парами отъ окружающихъ частей водной поверх-

ности. Кромѣ величины сосуда, вліяетъ и высота края эвапорометра надъ уровнемъ воды въ эвапорометрѣ. Благодаря защитѣ отъ вѣтра, въ эвапорометрахъ съ высокимъ краемъ испареніе будетъ итти медленнѣе, чѣмъ при невысокомъ краѣ, причеиъ вліяніе края будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше поверхность воды. Какъ примѣръ можно привести опыты Малюшицкаго, показавшаго, что испареніе эвапорометра Вильда зависитъ въ извѣстной степени отъ высоты уровня воды въ приборѣ (Изв. Моск. Сельско-хоз. Инст. 1900).

Принимая во вниманіе всѣ указаннныя обстоятельства, легко понять, что наблюденія надъ различными эвапорометрами, при различной обстановкѣ опытовъ, даютъ результаты, которые при математической обработкѣ приводятъ къ сильно разнящимся другъ отъ друга формуламъ. Эти формулы, вообще не даютъ намъ возможности вычислять испареніе любой водной поверхности въ природѣ; каждая изъ нихъ приложима только къ тому частному случаю испаренія, изъ котораго она выведена. Поэтому не удивительно, что результаты, вычисленные по этимъ формуламъ, сильно разнятся между собою. Въ подтвержденіе сказаннаго приводимъ слѣдующую таблицу, заимствованную у проф. Bigelow (M. W. R. 1908), показывающую намъ главнѣйшія формулы испаренія, выведенныя каждая на основаніи особаго ряда наблюденій надъ эвапорометромъ.

Abassia (Египетъ):	$E = 0,0122 (F - f) + 0,00029 (F - f) v;$
Fitzgerald:	$E = 0,0166 (F - f) + 0,000783 (F - f) v;$
Carpenter:	$E = 0,0161 (F - f) + 0,0000895 (F - f) v;$
Stelling:	$E = 0,0351 (F - f) + 0,00044 (F - f) v;$

Въ этихъ формулахъ E обозначаетъ испареніе въ теченіе часа въ mm; F = упругость насыщеннаго пара при температурѣ поверхности воды въ mm; f = упругость паровъ воздуха въ mm; v = скорость вѣтра, выраженная въ $\frac{m}{sec}$. Подставляя въ предыдущія формулы слѣдующія частныя значенія для независимыхъ переменныхъ: $F = 22,02$ (t^0 воды = $23^0,9$); $f = 13,17$ (точка росы воздуха = $15^0,6$); $F - f = 8,85$; $v = 10$, Bigelow находитъ слѣдующія величины для E , на основаніи отдѣльныхъ формулъ:

$$\text{Abassia: } E = 0,1337 \text{ mm};$$

$$\text{Fitzgerald: } E = 0,2162;$$

Carpenter: $E = 0,1504$;

Штеллингъ: $E = 0,3495$;

Мы видимъ слѣдовательно, что результаты получаются совершенно несогласные. Замѣтимъ, что кромѣ формулъ указаннаго вида, предложены, конечно, и формулы другого вида. Какъ примѣръ можемъ привести формулу Мазинга, выведенную на основаніи показаній эвапорометра въ будкѣ Вильда при Юрьевской обсерваторіи (см. работу Мазинга въ настоящемъ томѣ Сборника):

$$E = 0,116 (F_b - f) (\sqrt{w} + 0,94)$$

гдѣ E = испареніе въ сутки въ мм; w = скорость вѣтра въ $\frac{\text{km}}{\text{часъ}}$, F_b = упругость насыщеннаго пара при t^0 воздуха. Послѣ приведенія къ вышеуказаннымъ единицамъ, она принимаетъ видъ:

$$E = 0,0045 (F_b - f) + 0,00917 (F_b - f) \sqrt{v}$$

Подставляя вышеуказанныя частныя значенія, и считая $F_b = F$, т. е. полагая t^1 воздуха равной t^0 воды, мы получаемъ для испаренія $E = 0,2964$ мм. Приведемъ еще формулу проф. Marvin'a¹⁾:

$$E = \frac{C}{B} (F + F_b - 2f) \varphi(j) \varphi(v),$$

гдѣ B = барометрическое давленіе, φ = знакъ неизвѣстной функціи, остальные буквы имѣютъ прежнее значеніе. Въ этомъ уравненіи подчеркивается фактъ, что испареніе возможно и въ томъ случаѣ, когда воздухъ насыщенъ, т. е. $F_b = f$, если только $F > F_b$, т. е. t^0 воды выше температуры воздуха, тогда скобка принимаетъ значеніе $F - f$.

Приведенными формулами еще не исчерпано все число предложенныхъ формулъ. Замѣтимъ, что цѣлый рядъ различныхъ формулъ можно найти у Strachan'a²⁾.

Не останавливаясь болѣе на нихъ, скажемъ еще нѣсколько словъ о новѣйшей формулѣ, предложенной проф. Bigelow, являющейся плодомъ опытовъ, произведенныхъ въ наиболѣе широкомъ, до сихъ поръ, масштабѣ. Какъ извѣстно, въ послѣднее время (см. также М. В. 1909) американскимъ правительствомъ снаряжена многообѣщающая экспедиція подъ руководствомъ проф. Bigelow въ Кали-

1) Marvin. M. W. R. 1909. p. 57.

2) Strachan. Measurement of evaporation. Quart. Journ. 1905.

форнію для изученія законовъ испаренія при помощи наблюденій надъ высыхающимъ озеромъ Salton Sea¹⁾. Помимо изслѣдованій, направленныхъ къ опредѣленію косвеннымъ путемъ величины испаренія съ поверхности цѣлаго озера, причемъ испареніе считается равнымъ суммѣ пониженія уровня озера, притока воды двумя меньшими рѣками и осадковъ на поверхности озера (см. объ этомъ ниже), задача экспедиціи заключается въ опредѣленіи законовъ испаренія при помощи весьма широко обставленныхъ опытовъ съ эвапорометрами, въ которыхъ по возможности разнообразятся условія опыта. Плодомъ этихъ изслѣдованій являются нѣсколько формулъ проф. Bigelow, изъ которыхъ послѣдняя имѣетъ слѣдующій видъ²⁾:

$$E = C \frac{F}{f} \frac{df}{dt} (1 + A v),$$
 гдѣ t представляетъ температуру поверхности воды, $A = 0,070$. Остальныя буквы имѣютъ прежнее значеніе. $\frac{df}{dt}$ представляетъ собою приростъ упругости пара на 1° и можетъ быть взятъ изъ таблицъ упругости пара. Характерное отличіе этой формулы заключается въ томъ, что въ нее входитъ не разность $F - f$, а отношеніе $\frac{F}{f}$. Кроме того, важнымъ является также то обстоятельство, что въ этой формулѣ коэффициентъ C разсматривается какъ функція величины поверхности эвапорометра. Если E представляетъ собою испареніе въ см. въ теченіе сутокъ, то C принимаетъ слѣдующій видъ: $C = 0,138 (1,23)^n$, гдѣ

$n = 0$, для большихъ водныхъ поверхностей

$n = 1$, для сосудовъ діаметромъ въ 6 футовъ

$n = 2$, „ „ „ „ 4 „

$n = 3$, „ „ „ „ 2 „

$n = 4$, для обыкновеннаго сухого воздуха (?).

Такимъ образомъ это уравненіе даетъ намъ также испареніе большихъ водныхъ поверхностей въ природѣ (для $n = 0$). Соотвѣтственная величина коэффициента найдена на основаніи величины испаренія озера Salton, опредѣленнаго указаннымъ косвеннымъ путемъ, и оказавшагося для 1909/10 года (съ 1-го іюня) равнымъ 69 англ. дюймамъ или 1750 мм.

1) Bigelow. Studies on the evaporation of water in lakes and reservoirs. M. W. R. 1907—1910.

2) Bigelow: M. W. R. 1910. p. 1134.

Что касается практической приложимости этой формулы, то, какъ указываетъ самъ Bigelow, коэффициентъ S не является постоянной (при данной величинѣ поверхности воды въ эвапорометрѣ), какъ слѣдовало бы ожидать, если бы эта формула была строго вѣрна. Величина коэффициента S не только замѣтна мѣняется при опытахъ въ различныхъ климатахъ, но и въ одномъ и томъ же мѣстѣ она показываетъ, хотя и слабый, суточный ходъ. Все это указываетъ на то, что и эту формулу нельзя считать за окончательное разрѣшеніе вопроса объ испареніи водныхъ поверхностей, хотя она, безъ сомнѣнія, представляетъ крупный шагъ впередъ въ этомъ направленіи.

Итакъ мы видимъ, что до сихъ поръ не существуетъ точной формулы, которая позволяла бы вычислять испареніе любой водной поверхности въ природѣ. Что касается непосредственнаго измѣренія этой величины въ частныхъ случаяхъ, то оно возможно только при помощи пловучихъ эвапорометровъ, въ которыхъ вода находится на одномъ уровнѣ съ поверхностью воды разсматриваемаго водоема. (Въ нѣкоторыхъ случаяхъ возможно также опредѣленіе испаренія озера указаннымъ косвеннымъ путемъ). Примѣрами такихъ эвапорометровъ являются пловучіе эвапорометры Вильда¹⁾ и Лермантова-Любославскаго²⁾; см. объ этомъ также Bigelow (l. c.) и Marvin³⁾. Такіе приборы, если заботиться о томъ, чтобы размѣры ихъ были достаточно велики, такъ что можно пренебречь вліяніемъ края сосуда на силу вѣтра у поверхности воды въ сосудѣ и вліяніемъ стѣнокъ на температуру воды, даютъ, нужно думать, съ достаточною точностью величину испаренія окружающей ихъ поверхности воды. Что же касается свободно экспонированныхъ эвапорометровъ, то показанія ихъ не даютъ возможности судить объ испареніи водныхъ поверхностей въ природѣ. Хотя и тутъ нельзя упускать изъ виду, что испареніе съ поверхности большого водоема не будетъ совершенно тождественнымъ во всѣхъ точкахъ ея. У береговъ съ навѣтренной стороны оно, будетъ, нужно полагать, значительнѣе, чѣмъ въ серединѣ или у бере-

1) Штеллингъ. Rep. f. Met. томъ VIII. 1883.

2) М. В. 1894. р. 180.

3) Marvin. Methods and apparatus for the observation and study of evaporation. M. W. R. 1909. р. 142. р. 182.

говъ на подвѣтренной сторонѣ; и въ общемъ, испареніе средней части будетъ слабѣе испаренія съ прибрежныхъ частей. Въ общемъ, какъ мы выше видѣли, свободно экспонированный эвапорометръ будетъ испарять сравнительно сильнѣе, чѣмъ большая водная поверхность; однако, испареніе эвапорометра въ сильнѣйшей степени зависитъ еще отъ побочныхъ условій, какъ-то: находится ли онъ въ тѣни или на солнцѣ, защищенъ ли отъ вѣтра или нѣтъ (находится ли онъ, напр., въ психрометрической будкѣ или нѣтъ). Вслѣдствіе этого эвапорометры будутъ давать показанія, уклоняющіяся отъ испаренія большихъ водоемовъ въ природѣ, причемъ разница можетъ быть то положительною, то отрицательною. Такъ, напр., дѣйствительное испареніе съ поверхности рѣки Аму-Дарьи, измѣренное при помощи пловучаго эвапорометра (съ мая по сентябрь = 961 мм), оказалось значительно меньше показаній эвапорометра Вильда въ психрометрической будкѣ (1454 мм), что отчасти объяснялось низкою температурою воды въ рѣкѣ¹⁾. Наоборотъ въ Павловскѣ²⁾ показанія эвапорометра въ будкѣ Вильда, въ среднемъ за лѣтніе мѣсяцы періода 1880—82, было меньше испаренія съ поверхности пруда въ 2,27 раза. Въ этомъ случаѣ преобладало вліяніе защиты эвапорометра въ будкѣ отъ вѣтра и отъ инсоляціи, сильно нагрѣвавшей воду мелкаго пруда.

Итакъ мы видимъ, что выставленные на воздухъ эвапорометры и, въ частности, весьма распространенные по Россіи эвапорометры Вильда, установленные въ психрометрической будкѣ, не даютъ намъ величины испаренія свободныхъ водоемовъ въ природѣ. Что такіе эвапорометры еще меньше въ состояніи дать намъ представленіе объ испареніи воды изъ почвы или растительнаго покрова, это до того очевидно, что мы считаемъ излишнимъ объ этомъ распространяться; впрочемъ въ дальнѣйшемъ изложеніи мы укажемъ на нѣкоторые особенно разительные примѣры несоотвѣтствія показаній эвапорометра дѣйствительному испаренію въ природѣ.

Значеніе разсматриваемыхъ эвапорометровъ заключается

1) Воейковъ. Метеорологія. 1894. р. 244.

2) Рыкачевъ. Новый испаритель для наблюденія надъ испареніемъ травы. Зап. И. Ак. Н. VIII сер. т. VII. № 3. 1898.

лишь въ томъ, что показанія ихъ служатъ для характеристики извѣстной стороны климата, а именно испаряющей способности или „испаряемости“ (Воейковъ). Очевидно, однако, чтобы сравнивать испаряемость различныхъ областей, необходимо имѣть эвапорометры одинаковаго устройства и находящіеся въ одинаковой обстановкѣ. (Неизбѣжныя, однако, различія въ обстановкѣ, особенно, что касается условій вѣтра, уменьшаютъ и въ этомъ отношеніи цѣну абсолютныхъ показаній эвапорометровъ; наиболѣе важнымъ является годовой ходъ показаній эвапорометра). Въ Россіи принято измѣрять испаряемость климата показаніями эвапорометра Вильда въ нормальной установкѣ. (Замѣтимъ мимоходомъ, что нѣкоторыми авторами слово „испаряемость“ употребляется только какъ синонимъ „показанію эвапорометра Вильда“, что очевидно неудобно, ибо въ такомъ случаѣ нельзя было бы говорить объ испаряемости климата такихъ странъ, въ которыхъ эвапорометръ Вильда не употребляется. Лучше говорить, что испаряемость климата измѣряется показаніями эвапорометра Вильда. Кромѣ того, замѣтимъ еще, что опредѣленную вышеуказаннымъ образомъ испаряемость нельзя отождествлять съ возможнымъ максимумомъ испаренія въ природѣ, который имѣлъ бы мѣсто при постоянномъ избыткѣ влаги въ почвѣ; какъ мы увидимъ въ главѣ V, возможный максимумъ испаренія растительнаго покрова въ природѣ можетъ значительно превосходить величину испаренія, показываемую эвапорометромъ).

Что касается опытовъ съ лизиметрами, служащими для измѣренія испаренія изъ почвы, голой или съ растительнымъ покровомъ, то важно отмѣтить разницу въ значеніи данныхъ лизиметрическихъ опытовъ и опытовъ съ обыкновенными эвапорометрами. Послѣдніе, при обычной обстановкѣ опыта, какъ мы видѣли, не даютъ намъ абсолютныхъ величинъ испаренія въ окружающей природѣ; онѣ не даютъ даже (за исключеніемъ пловучихъ эвапорометровъ) испаренія водныхъ поверхностей въ природѣ. Показанія же лизиметровъ (о нихъ мы будемъ говорить подробнѣе въ гл. V) могутъ, при хорошей обстановкѣ опыта, дѣйствительно, давать испареніе изслѣдуемаго вида почвы или растительнаго покрова въ природѣ, и при помощи ихъ добыто не мало цѣнныхъ результатовъ. Однако, несмотря на большой интересъ найденныхъ результатовъ, свѣдѣнія наши объ испареніи раз-

личныхъ видовъ какъ голый почвы, такъ и растительнаго покрова, еще весьма неполны, приче́мъ во многихъ вопро-сахъ, какъ мы увидимъ ниже, мнѣнія различныхъ авторовъ сильно расходятся.

При такомъ положеніи дѣла вопросъ объ общемъ балансѣ влаги можетъ казаться неразрѣшимымъ, ибо имѣю-щіяся опытная данныя слишкомъ ненадежны для того, чтобы можно было на основаніи ихъ, суммируя испареніе отдѣль-ныхъ разнородныхъ частей, получить испареніе данной бо-лѣе или менѣе обширной области суши. (Объ интересной попыткѣ такого рода см. однако, въ главѣ VIII.) Къ счастью, существуетъ способъ опредѣленія испаренія даже обширныхъ поверхностей суши, не прибѣгая къ опредѣленію испаренія отдѣльныхъ частей ея. Способъ, разсмотрѣнію результатовъ котораго и посвящена главная часть настоящей работы, осно-ванъ на измѣреніяхъ количества осадковъ на поверхности даннаго рѣчного бассейна и расхода рѣки этого бассейна. Предполагая, что количество осадковъ, полученныхъ бассей-номъ въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ, или испаряется, или сте-каетъ рѣкою, мы, очевидно, можемъ, зная количество осад-ковъ и величину стока, опредѣлить величину испаренія дан-наго бассейна по формулѣ: испареніе = осадки — стокъ. Однако, прежде, чѣмъ разбирать слѣдствія, вытекающія изъ указаннаго равенства, (на важное значеніе котораго впервые указалъ Пенкъ), разсмотримъ, насколько данныя объ осад-кахъ и стокѣ, и величина испаренія, вычисленная на осно-ваніи ихъ, могутъ соотвѣтствовать дѣйствительности.

Глава I.

О способахъ и о точности измѣреній осадковъ, стока и испаренія рѣчныхъ бассейновъ.

Для вѣрной оцѣнки имѣющагося въ нашемъ распоря-женіи матеріала весьма важно знать его точность, т. е. на-сколько величины „осадки“, „стокъ“ и „испареніе“, приведен-ныя въ таблицахъ, соотвѣтствуютъ дѣйствительнымъ величи-намъ осадковъ, стока и испаренія разсматриваемаго бассейна.

Къ сожалѣнію, мы не въ состояніи дать сколько-нибудь точные предѣлы ошибокъ уже ввиду того, что точность дан-

ныхъ для различныхъ бассейновъ весьма различна. Кромѣ того, конечно, по существу дѣла, мы лишены возможности проверки данныхъ для отдѣльныхъ бассейновъ. Тѣмъ не менѣе мы можемъ установить нѣкоторые пункты, дающіе извѣстное представленіе о степени точности разсматриваемыхъ величинъ.

Обратимся сначала къ разсмотрѣнію осадковъ и стока, являющихся для насъ исходными величинами.

Точность измѣренія этихъ величинъ, конечно, весьма различна для различныхъ бассейновъ, хотя въ общемъ можно сказать, что болѣе важнымъ источникомъ погрѣшностей является неточность величины осадковъ

Какъ извѣстно, точное измѣреніе осадковъ въ данной мѣстности сопряжено съ большими затрудненіями и, какъ мы увидимъ далѣе, въ строгомъ смыслѣ едва ли выполнимо. Показанія дождемѣровъ зависятъ отъ цѣлаго ряда побочныхъ обстоятельствъ, какъ-то: размѣры его, форма, высота установки, близость другихъ, болѣе высокихъ предметовъ и т. д. Для доказательства вліянія высоты установки произведено большое число наблюденій, доказывающихъ весьма сильное уменьшеніе показаній дождемѣровъ съ высотой установки надъ поверхностью земли. Ограничиваюсь приведеніемъ лишь слѣдующихъ примѣровъ: уже въ 1766/67 г. Невегдон нашель, что количество осадковъ за годъ въ Лондонѣ равнялось въ саду 574 мм; на крышѣ Вестминстерскаго аббатства всего 307 мм. Въ Юрьевѣ на дворѣ обсерваторіи количество осадковъ получилось равнымъ 559 мм; на крышѣ — 512 мм.

Разница между показаніями дождемѣровъ при различной высотѣ установки объясняется возрастаніемъ силы вѣтра съ высотой и выдуваніемъ части осадковъ (особенно снѣга) изъ дождемѣра, отчасти благодаря образованію вихревыхъ движеній воздуха надъ отверстиемъ дождемѣра, препятствующихъ проникновенію туда болѣе легкихъ капель или снѣжинокъ. Для защиты отъ вѣтра дождемѣры снабжаются защитною воронкою (Ниферова защита) или окружаются заборомъ (по Вильду); но, къ сожалѣнію, эти защитныя приспособленія, замѣтно понижающія недолавливаніе осадковъ, распространены далеко не повсюду.

Особенно велико вліяніе вѣтра на показанія дождемѣра зимою. Это видно изъ того, что разность между не-

защищенными и защищенными дождембрами достигает максимума зимою. Schubert приводит слѣдующій примѣръ, показывающій количества осадковъ, измѣренныя защищеннымъ и незащищеннымъ дождембрами (А и В), въ связи съ числомъ дней съ осадками въ видѣ снѣга (С), зимою 1904/05 г. въ Проскау. (См. Wald u. Niederschlag in Westpreussen u. Posen. 1905. Лѣсной ж. 1907. р. 1343).

	А мм.	В мм.	Раз- ность	С
ноябрь 1904 г.	47,2	42,5	10 ⁰ / ₀	8
декабрь „ „	36,2	32,5	10 ⁰ / ₀	9
январь 1905 г.	40,6	27,0	33 ⁰ / ₀	15
февраль „ „	37,1	29,2	21 ⁰ / ₀	10
мартъ „ „	39,4	36,9	6 ⁰ / ₀	3
апрѣль „ „	50,7	47,6	6 ⁰ / ₀	3
Всего	251,2	215,7	14 ⁰ / ₀	

Мы видимъ, что разность весьма значительна и въ своемъ ходѣ вполне соотвѣтствуетъ числу дней съ осадками въ видѣ снѣга. Очевидно, тутъ играетъ роль значительное выдуваніе снѣга вѣтромъ изъ незащищенного дождембра.

Разницу между показаніями защищеннаго и незащищеннаго дождембровъ весьма обстоятельно изслѣдовалъ Бергъ (Зап. И. Ак. Наукъ 1895. т. III. № 2), который, между прочимъ нашелъ для этой разницы слѣдующія величины: въ Петербургѣ для времени отъ декабря по мартъ защищенный дождембръ показывалъ больше на 39⁰/₀, въ Екатеринбургѣ на 11⁰/₀; для времени отъ іюня по октябрь соотвѣтствующія числа равны 2⁰/₀ и 0,6⁰/₀; для цѣлаго года — 8⁰/₀ и 2,8⁰/₀. Мы видимъ, что недочетъ въ зимнее время можетъ доходить до 40⁰/₀ (въ году онъ, какъ видно изъ приведенныхъ чиселъ, значительно меньше).

Разница между дѣйствительною величиною осадковъ и показаніемъ дождембра увеличивается еще благодаря тому, что выпаденіе осадковъ отчасти совершается въ формахъ, не поддающихся измѣренію при помощи дождембра, какъ-то: въ видѣ росы, инея, изморози, подпочвенной росы и т. д.

Вопросъ о томъ, какую роль играютъ вышеприведенныя формы осадковъ, къ сожалѣнію, еще не рѣшенъ. Впро-

чемъ онъ едва ли строго разрѣшимъ въ количественномъ отношеніи, какъ вслѣдствіе отсутствія, до сихъ поръ, удобныхъ приборовъ для измѣренія, такъ особенно вслѣдствіе того, что количество воды, выпадающей въ видѣ росы, инея и т. д. въ высшей степени зависитъ отъ состоянія и величины поверхности предметовъ, на которыхъ она осѣдаетъ, а потому сильно варьируетъ отъ одного мѣста къ другому.

Что касается росы и инея, то наблюденія, произведенныя надъ осажденіемъ ихъ на стеклянныхъ и т. п. пластинкахъ въ общемъ даютъ весьма незначительныя количества воды, по сравненію съ осадками. Такъ, напр., Houdaille въ Монпелье опредѣлялъ годовое количество росы въ 6—7 mm = 1/100 осадковъ, въ Одессѣ общее количество воды, выпавшей въ видѣ росы, тумана, инея и изморози съ 1 апрѣля по 31 октября 1903 г. составляло слой воды въ 8,4 mm. т. е. около 1/33 осадковъ; (см. Клоссовскій. Метеорологія 1910. р. 190).

Но количество росы, опредѣленное при искусственныхъ условіяхъ, не даетъ еще права судить о количествѣ влаги, получаемой растеніями и почвой. Воейковъ полагаетъ, что это количество, особенно, что касается растеній, должно быть значительно больше, благодаря большой поверхности растеній, болѣе сильному лучеиспусканію (охлажденію) ихъ поверхности вслѣдствіе шероховатости и благодаря увлажненію воздуха черезъ испареніе растеній и почвы.

Существуютъ, однако, опыты надъ осажденіемъ росы на растеніяхъ, не подтверждающіе этого вывода. Такъ, напр., Хоменъ въ Финляндіи ни лѣтомъ 1893 г., ни лѣтомъ 1896 г., въ теченіе которыхъ производились опыты, не могъ констатировать увеличенія вѣса своихъ испарителей, состоявшихъ изъ кусковъ дерна, отъ ночной росы или осажденія тумана (см. Ноттэп. Über den täglichen Wärmeumsatz im Boden). Вольни въ Мюнхенѣ нашелъ, что количество росы на растеніяхъ составляетъ около 3⁰/₁₀ осадковъ. Къ аналогичному выводу относительно значенія росы приходитъ и Hilgard, который считаетъ роль росы въ процессѣ орошенія почвы весьма ничтожной, тѣмъ болѣе, что она, по его мнѣнію, представляетъ собою, по большей части, конденсированныя пары почвы, а не воздуха (см. Hilgard. Soils. р. 308).

Что касается подпочвенной росы, то хотя существованіе ея въ извѣстныхъ случаяхъ не можетъ подлежать

сомнѣнію (см. напр. статью проф. Барак ова въ „Почвовѣдѣніи“ 1908), но роль ея въ количественномъ отношеніи для орошенія страны еще не выяснена, ввиду большой измѣнчивости этой величины.

Ввиду большой измѣнчивости, какъ мы уже указали, росы, инея и т. д. нужно также скептически относиться къ общимъ выводамъ относительно значенія этихъ формъ „неизмѣримыхъ“ осадковъ, основанныхъ на частныхъ примѣрахъ. Хотя труды вышеприведенныхъ авторовъ и заставляютъ думать, что въ общемъ роль росы, инея и т. д. невелика; въ извѣстныхъ случаяхъ большая роль ихъ не можетъ подлежать сомнѣнію. По мнѣнію Hilgard'a послѣднее имѣетъ мѣсто въ весьма влажныхъ областяхъ. Тутъ благодаря большому содержанию влаги въ воздухѣ, роса можетъ осадаться въ весьма замѣтныхъ количествахъ. То же самое относится и къ многимъ горнымъ областямъ (см. напр. у Hann'a Lehrbuch d. Meteorologie).

Повидимому также немаловажную роль играетъ въ горахъ конденсація паровъ воздуха на поверхности снѣга и ледниковъ, спускающихся въ болѣе теплый климатъ. Очевидно, что конденсація будетъ происходить въ томъ случаѣ, если температура поверхности снѣга ниже точки росы воздуха или, говоря точнѣе, если упругость паровъ снѣга или льда при данной температуры меньше упругости паровъ, находящихся въ воздухѣ, ибо нужно принимать во вниманіе, что упругость насыщенныхъ паровъ снѣга всегда немного ниже упругости паровъ воды (по которой вычисляется точка росы воздуха) при той же температурѣ. (Замѣтимъ мимоходомъ, что для процесса испаренія снѣга или льда, конечно, совершенно безразлично, находятся ли въ воздухѣ пары „ледяные“ или „водяные“; важна только ихъ упругость.)

По наблюденіямъ въ высоко расположенной горной долины Давоса въ февралѣ, мартѣ и декабрѣ 1891 г. и январѣ и февралѣ 1892 г. въ 59% всѣхъ случаевъ (366) температура снѣга было ниже точки росы воздуха; въ 41% случаевъ точка росы была ниже. На основаніи этихъ чиселъ Брикнеръ полагаетъ, что конденсація паровъ поверхностью снѣга была больше испаренія (см. Brückner. Über den Einfluss der Schneedecke auf das Klima der Alpenländer. Das Wetter 1900). Конечно, въ другихъ мѣстностяхъ, менѣе защищенныхъ отъ вѣтра, условія конденсаціи могутъ быть иныя.

Что касается вопроса объ испареніи снѣжнаго покрова въ равнинѣ, то нужно полагать, что въ общемъ испареніе преобладаетъ надъ конденсаціей. Изъ относящихся сюда работъ необходимо указать на работу Мюллера (къ вопросу объ испареніи снѣжнаго покрова. Приложение къ LXIX тому Зап. И. Ак. Н. № 7). По ежечаснымъ наблюденіямъ на Екатеринбургской обсерваторіи, съ 21/ХІІ 1900 до 28/ІІ 1901, изъ 1680 наблюденій 460 наблюденій (или 27%) показали t^0 снѣга ниже точки росы воздуха, т. е. въ 27% случаевъ происходила конденсація. Въ остальныхъ случаяхъ (73%) происходило испареніе. Тутъ однако не принято во вниманіе, что давленіе насыщенныхъ паровъ надъ снѣгомъ ниже давленія насыщенныхъ паровъ надъ водою. Однако и въ томъ случаѣ, если это обстоятельство принято во вниманіе, испареніе преобладаетъ надъ конденсаціей. Такъ, напр., изъ 544 наблюденій въ февралѣ 22%, если вести вычисленія по точному способу, указываютъ на конденсацію; (если же оставить безъ вниманія вышеуказанное обстоятельство, то конденсація получается въ 15% случаевъ).

Опытнымъ путемъ, который давалъ бы возможность рѣшить вопросъ объ испареніи съ поверхности снѣгового покрова не только въ количественномъ, но и въ качественномъ отношеніи, до сихъ поръ вопросъ разработанъ очень мало.

Интересна въ этомъ отношеніи работа М. Jansson'a и J. Westman'a (Quelques recherches sur la couverture de neige. Bull. Geol. Inst. Upsala. Vol. V. 1901), подъ снѣговымъ покровомъ близъ Упсалы въ теченіе зимы 1902 г. (февраль — апрѣль). Опредѣляя испареніе снѣга, какъ взвѣшиваніемъ плоскихъ сосудовъ, наполненныхъ снѣгомъ и помѣщенныхъ въ одинъ уровень съ окружающимъ снѣгомъ, такъ и наблюденіями надъ уменьшеніемъ толщины снѣжнаго покрова, они нашли, что испареніе въ общемъ преобладало надъ конденсаціей, хотя въ среднемъ лишь на 0,15 mm въ сутки. Конечно, это относится лишь къ разсматриваемому промежутку времени.

Ввиду большаго значенія зимняго запаса снѣга и ввиду ненадежности показаній дождемѣровъ въ это время, весьма важно комбинировать показанія дождемѣровъ съ наблюденіями надъ высотой и плотностью снѣжнаго покрова. Такой

способъ далъ бы возможность вести болѣе точный учетъ запаса снѣга и опредѣлить роль испаренія и таянія въ теченіе зимы.

Что касается точности опредѣленія количества осадковъ цѣлаго бассейна на основаніи данныхъ отдѣльныхъ станцій, то можно было бы думать, что, при большомъ числѣ ихъ, отклоненія ихъ показаній отъ дѣйствительности будутъ взаимно уравновѣшиваться. Однако это относится только къ случайнымъ ошибкамъ; систематическая же погрѣшность, состоящая въ недолавливаніи осадковъ, будетъ конечно сказываться и на найденной величинѣ осадковъ бассейна, такъ что въ общемъ должно получиться количество осадковъ, которое будетъ ниже дѣйствительности. На этомъ основаніи швейцарскій гидрологъ *Lauterburg* предложилъ умножить количество осадковъ (по дождемѣрамъ) на $\frac{5}{4}$, чтобы получить истинную величину. Однако, на основаніи предыдущаго, мы можемъ полагать, что поправка будетъ весьма измѣнчива. Въ областяхъ, въ которыхъ снѣгъ играетъ небольшую роль, вышеуказанная поправка будетъ вѣроятно слишкомъ велика, хотя и въ такихъ областяхъ разница между измѣреннымъ и дѣйствительнымъ количествомъ осадковъ будетъ не менѣе нѣсколькихъ процентовъ. Въ другихъ областяхъ, напротивъ, напр., горныхъ, съ большимъ количествомъ снѣга и „неизмѣримыхъ“ осадковъ этотъ факторъ можетъ быть даже слишкомъ малымъ. Ввиду этого мы отказываемся отъ введенія поправки, причѣмъ должны только помнить, что полученные для осадковъ (а слѣд. и для испаренія) величины представляютъ собою лишь приближеніе, и въ большинствѣ случаевъ, вѣроятно, на нѣсколько процентовъ ниже дѣйствительности.

Другимъ источникомъ погрѣшностей при опредѣленіи количества осадковъ цѣлаго бассейна служитъ неравномѣрное распредѣленіе осадковъ по поверхности бассейна, вслѣдствіе большой измѣнчивости количества осадковъ въ пространствѣ. Очевидно, что при такихъ условіяхъ ариѳметическое среднее изъ показаній небольшого числа станцій, да еще неравномѣрно распредѣленныхъ по поверхности бассейна, можетъ дать число, замѣтно уклоняющееся отъ истинной средней величины осадковъ даннаго бассейна.

Что касается измѣнчивости количества осадковъ въ пространствѣ въ предѣлахъ даннаго бассейна, то

она зависитъ отъ вліянія различныхъ факторовъ. Прежде всего нужно имѣть въ виду вліяніе рельефа: чѣмъ расчлененнѣе рельефъ, тѣмъ больше неравномѣрность распредѣленія осадковъ. Вслѣдствіе этого измѣнчивость осадковъ въ горныхъ областяхъ несравненно больше, чѣмъ въ равнинныхъ. Осадки, выпадающіе на горныхъ склонахъ, расположенныхъ на пути влажныхъ вѣтровъ, могутъ доходить до нѣсколькихъ тысячъ миллиметровъ и въ нѣсколько разъ превосходить количество осадковъ на подвѣтренной сторонѣ.

Кромѣ рельефа, на измѣнчивость осадковъ въ пространствѣ значительное вліяніе оказываетъ длина рассматриваемаго промежутка времени. Чѣмъ короче періодъ времени, за который мы беремъ количества осадковъ, тѣмъ больше неравномѣрность ихъ распредѣленія. Очевидно, поэтому, что для опредѣленія съ извѣстною точностью количества осадковъ даннаго бассейна за извѣстный мѣсяць требуется значительно бѣльшая густота дождемѣрной сѣти, чѣмъ для опредѣленія многолѣтняго средняго.

Для характеристики большой измѣнчивости осадковъ, даже въ равнинныхъ областяхъ, замѣтимъ, что между Берлиномъ и станціями въ окрестностяхъ, по Hellmann'у встрѣчаются разности въ 5%; а для мѣсячныхъ величинъ уже на разстояніи $\frac{1}{2}$ km получаютъ разности въ 5% (см. Hann. Lehrbuch d. Meteorologie. Bd. I).

Изъ сказаннаго ясно, что нельзя установить общей для всѣхъ областей нормы минимальной густоты дождемѣрной сѣти. Очевидно, что для горныхъ областей требуется значительно бѣльшая густота дождемѣрной сѣти чѣмъ для равнинныхъ. Въ общемъ, имѣющіяся до сихъ поръ опредѣленія осадковъ горныхъ (въ частности альпійскихъ) бассейновъ являются весьма ненадежными, вслѣдствіе недостаточной густоты дождемѣрной сѣти. Обыкновенно онѣ даютъ слишкомъ малую величину осадковъ, а вслѣдствіе этого и испаренія: напр., для бассейна верхней Роны получается даже стокъ больше осадковъ, (см. Keller. Niederschlag, Abfluss u. Verdunstung in Mitteleuropa); для верхняго Рейна до устья р. Ландквардта, согласно Тейну, осадки — стокъ равны всего 69 mm. Это вполне понятно, такъ какъ въ наибѣлье возвышенныхъ мѣстностяхъ, дающихъ наибѣльшія количества осадковъ, дождемѣрныя станціи, обыкновенно, даже совсѣмъ отсут-

ствують; (отчасти тутъ, можетъ быть, играетъ роль и сгущеніе паровъ на поверхности снѣга и льда).

Густота дождемѣрной сѣти въ различныхъ бассейнахъ весьма различна. Изъ числа большихъ бассейновъ наиболѣе густою дождемѣрною сѣтью обладаетъ бассейнъ богемской Эльбы, въ которомъ, согласно Пенку, въ среднемъ на 100 km^2 приходится одна дождемѣрная станція. Въ бассейнѣ Днѣпра до Кіева съ площадью въ 335.575 km^2 Оппоковъ могъ пользоваться данными не болѣе 60—70 станцій, т. е. въ среднемъ 1 станція на 500 km^2 . Въ началѣ періода, для котораго Оппоковъ даетъ величины осадковъ и стока, имѣлось даже менѣе 10 станцій на всемъ пространствѣ бассейна. Такое число является безусловно недостаточнымъ, несмотря на сравнительно небольшую измѣнчивость осадковъ въ пространствѣ для равниннаго бассейна; поэтому слѣдуетъ отбросить первые года, дающіе величины испаренія, сильно уклоняющіеся отъ общей закономерности.

Выше мы сказали, что образованіе ариѳметическаго средняго изъ показаній всѣхъ станцій, неравномѣрно распределенныхъ по поверхности бассейна, можетъ дать величину, значительно уклоняющуюся отъ истинной, средней величины осадковъ всего бассейна. Можно конечно выбирать изъ числа всѣхъ станцій извѣстное число ихъ, распределенныхъ равномѣрно по бассейну. Но для полученія точныхъ результатовъ по такому способу требуется густота дождемѣрной сѣти, какой обыкновенно не имѣется.

Болѣе точнымъ, чѣмъ образованіе ариѳметическаго средняго является методъ изогіетъ примѣненный Пенкомъ и Руварачомъ, Вуевичомъ и другими для опредѣленія средней величины осадковъ даннаго бассейна. Для этого наносятся на карту бассейна данныя всѣхъ станцій, обнимающія разсматриваемый промежутокъ времени; а также данныя станцій, обнимающихъ лишь часть періода, но приведенныя къ цѣлому періоду при помощи редуціонныхъ факторовъ Ганна. На основаніи всѣхъ этихъ данныхъ проводятся изогіеты, а затѣмъ посредствомъ планиметра опредѣляются площади, заключенныя между отдѣльными изогіетами, что даетъ возможность опредѣлить всю сумму осадковъ бассейна.

Другой, болѣе удобный, способъ, тоже дающій возмож-

ность использовать весь материал данных дождемерных станцій, приложенный Schreiber'омъ къ вычисленію осадковъ въ Саксоніи, заключается въ томъ, что вся разсматриваемая область покрывается сѣтью равновеликихъ квадратовъ, у Schreiber'a равныхъ 10 km^2 ; въ каждый квадратъ записывается количество осадковъ, или непосредственно данное дождемерною станціею, расположенной въ квадратѣ, или опредѣленное при помощи интерполяціи. Суммируя количества осадковъ всѣхъ квадратовъ и дѣля результатъ на число квадратовъ, мы получаемъ среднюю высоту осадковъ всей области.

Что результаты, полученные посредствомъ этихъ болѣе точныхъ методовъ, могутъ значительно разниться отъ ариѳметическаго средняго осадковъ всѣхъ станцій, можно видѣть изъ сравненія чиселъ, вычисленныхъ Вуевичомъ для бассейна р. Тиссы: а) при помощи изогіетъ; б) на основаніи ариѳметическаго средняго.

Для бассейна Тиссы до Тиссы Уйлакъ: а) 1174 мм; б) 1032; разность $+ 12,1 \%$; для Тиссы до Ташкони: а) 795 мм; б) 815; разность $- 3,0 \%$; для Тиссы до Сегедина: а) 710 мм; б) 756 мм; разность $- 6,5 \%$. Разницы объясняются неравномернымъ распредѣленіемъ станцій: въ первомъ, гористомъ бассейнѣ станціи расположены преимущественно въ менѣе орошаемыхъ частяхъ бассейна; въ двухъ остальныхъ бассейнахъ онѣ гуще расположены въ лучше орошаемыхъ частяхъ.

Даже въ бассейнѣ богемской Эльбы, обладающемъ, какъ мы видѣли, наиболѣе густою дождемерною сѣтью, получаютъ замѣтныя разницы между величинами осадковъ, опредѣленными по различнымъ способамъ. Такъ Рихтеръ, раздѣлившій весь бассейнъ на 19 меньшихъ бассейновъ, и взявшій ариѳметическія среднія осадковъ станцій, распредѣленныхъ равномерно по бассейну, получилъ среднее за 15 лѣтъ, отличающееся на $1,5 \%$ отъ числа, найденнаго Руварачомъ и Пенкомъ; разницы же отдѣльныхъ лѣтъ доходятъ до $4,7 \%$.

Для Прибалтійскаго края ариѳметическое среднее даетъ въ 25 лѣтнемъ выводѣ 549,6 мм; способъ изогіетъ 537,0 мм; разница 12,6 мм или 2% .

Въ американскихъ бассейнахъ количество осадковъ почти исключительно опредѣлено на основаніи ариѳметическаго средняго, что, конечно, нѣсколько понижа-

еть цѣну найденныхъ результатовъ. Вообще для этихъ бассейновъ количества осадковъ являются главными источниками ошибокъ.

Точность измѣреній расходовъ рѣкъ въ высокой степени зависитъ отъ метода измѣреній. Для составленія такъ называемой кривой расходовъ (*courbe des débits*), показывающей величину расхода въ зависимости отъ высоты уровня, безусловно необходимы измѣренія скорости теченія на всѣхъ глубинахъ поперечнаго сѣченія русла, при различныхъ высотахъ уровня. Опредѣленія расходовъ, основанныя на измѣреніи лишь поверхностныхъ скоростей, могутъ дать совершенно ложные результаты, какъ указываетъ Келлеръ, который совершенно исключилъ изъ своей таблицы средне-европейскихъ бассейновъ результаты такихъ измѣреній.

Замѣтимъ далѣе, что главными источниками погрѣшностей являются: 1) неизбежныя ошибки при опредѣленіи расходовъ; особенно затруднительнымъ является опредѣленіе расхода на большихъ рѣкахъ при высокомъ уровнѣ или во время половодья. 2) Весьма важнымъ источникомъ погрѣшностей является то обстоятельство, что кривая расходовъ со временемъ теряетъ значеніе, вслѣдствіе измѣненія русла рѣки въ мѣстѣ наблюдений. Нерѣдко даже одно половодье въ состояніи настолько измѣнить форму ложа рѣки, что требуется опредѣленіе новой кривой расхода. Особенно важно повтореніе измѣреній отъ времени до времени для рѣкъ съ ложемъ, состоящемъ изъ удобоподвижнаго матеріала. Замѣтимъ, кстати, что разсужденія объ увеличеніи или уменьшеніи расходовъ рѣкъ не могутъ основываться на однихъ только наблюденияхъ надъ высотой ихъ уровня; для этого безусловно необходимы непосредственныя измѣренія расходовъ, ибо измѣненіе уровня можетъ, какъ мы видѣли, происходить и независимо отъ измѣненія величины расхода. На основаніи этого извѣстное утвержденіе Векса объ уменьшеніи водонности рѣкъ въ теченіе прошлаго столѣтія, основанное главнымъ образомъ на измѣненіяхъ высоты уровня соотвѣствующихъ рѣкъ, нужно считать недостаточно обоснованнымъ, такъ какъ пониженіе уровня можно объяснить углубленіемъ русла, какъ естественнымъ, такъ особенно искусственнымъ путемъ. (См. объ этомъ во многихъ статьяхъ Оппокова).

Въ режимѣ рѣчного стока важную роль играетъ ледо-

ставъ. Такъ какъ при ледоставѣ затрудняется свободный стокъ воды, то подъ влияніемъ этого уровень воды въ рѣкѣ повышается, однако, безъ соотвѣтственнаго повышенія величины расхода. Поэтому, чтобы по высотѣ уровня во время ледостава вычислить расходъ, необходимо уменьшить ее, иногда на довольно значительную величину. Такъ, напр., для Эльбы, согласно Руварачу, освобожденный отъ вліянія ледостава уровень воды, въ среднемъ за 15 лѣтъ, на 40 см ниже наблюдаемаго. Интересно также прослѣдить измѣненія изъ мѣсяца въ мѣсяць высоты уровня наблюдаемаго и уровня редуцированнаго (+ обозначаетъ возрастаніе высоты въ см; — обозначаетъ убываніе):

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
набл.	+12	+49	-24	48	-30	-22	-1	+6	+9	+4	+26	+19
редуц.	+22	+73	-20	-48	-30	-22	-1	+6	+9	+4	+18	-11

Изъ этой таблицы мы видимъ, что возрастаніе высоты уровня въ декабрѣ, обусловливается исключительно вліяніемъ ледостава. Редуцированный уровень въ декабрѣ падаетъ на 11 см и, слѣдовательно, въ теченіе этого мѣсяца происходитъ въ дѣйствительности уменьшеніе расхода рѣки, несмотря на возрастаніе высоты уровня. Очевидно, что описанное вліяніе ледостава въ русскихъ рѣкахъ должно быть гораздо значительнѣе, чѣмъ у Эльбы, которая, въ среднемъ за 15 лѣтъ, лишь 20 дней покрыта льдомъ.

Что касается абсолютной величины ошибки допускаемой при вычисленіи расхода во время ледостава, если пользоваться кривой расходовъ, составленной для открытаго русла, то она согласно Bolster'у можетъ достигать весьма значительной величины, и колеблется въ предѣлахъ отъ нѣсколькихъ до 40 процентовъ (см. Bolster. Potomac River basin. Water supply and irrigation paper. № 192. p. 29).

На основаніи вышеизложеннаго естественно придти къ заключенію, что и точность измѣреній стока не очень высока. Приводимъ для иллюстраціи опредѣленія расходовъ рѣки Эльбы, произведенныя одновременно въ двухъ весьма мало другъ отъ друга отстоящихъ городахъ Шандау и Тетченѣ (см. Schreiber: Beiträge zur meteorologischen Hydrologie der Elbe. p. 19). Въ среднемъ за 1875—1889 въ Тетченѣ получается годовой расходъ въ 9385. 10.⁶ м³; въ Шандау средній расходъ за тотъ же періодъ равенъ 10141.

10^6 м³, т. е. на 756. 10^6 м³ или на 8⁰/₀ большой Тетченского. Разницу эту нужно, какъ показываетъ Шрейберъ, всецѣло приписать ошибкамъ при измѣреніи. Разницы отдѣльныхъ лѣтъ колеблются между 5 и 1728. 10^6 м³, т. е. доходятъ до 18⁰/₀. Гораздо болѣе значительныя разности получаются, конечно, если мы сравнимъ расходы за болѣе короткіе промежутки времени, напр., за 10 дней. Въ такомъ случаѣ разности доходятъ до 100⁰/₀ меньшей величины. Напр., за первую декаду января 1894 года расходъ у Шандау былъ опредѣленъ равнымъ 2,0 мм; у Тетчена — 1,0 мм; разница = 1,0 мм.

Интересны также данныя о точности измѣреній расходовъ рѣкъ, производимыхъ въ Америкѣ въ громадномъ масштабѣ инженерами „United States Geological Survey.“ Bolster (Wates supply and irrigation paper № 192. p. 29) полагаетъ, что старанія опредѣлить годовую величину стока съ точностью, допускающей ошибки не большія 3⁰/₀, являлись бы напрасною тратою силъ и денегъ и практически невыполнимы. Мѣсячныя среднія, отклоняющіяся отъ истинной величины не болѣе какъ на 5⁰/₀, считаются весьма хорошими, а точность въ 10⁰/₀ достаточной для практическихъ цѣлей. Что касается средней точности кривой расходовъ, то она въ общемъ допускаетъ наибольшія ошибки при наивысшихъ уровняхъ. При наиболѣе часто встрѣчающихся среднихъ уровняхъ ошибки рѣдко достигаютъ 10⁰/₀ и обыкновенно меньше 5⁰/₀.

Что касается величины испаренія, опредѣляемой уравненіемъ: испареніе = осадки — стокъ, то, оставляя пока въ сторонѣ вопросъ о соотвѣтствіи величины „осадки — стокъ“ величинѣ дѣйствительнаго испаренія, можно а ригіоі сказать, что точность испаренія или разности осадковъ и стока меньше точности исходныхъ величинъ. Дѣйствительно, въ теоріи вѣроятностей доказывается, что, если z опредѣляется суммою или разностью x и y , то среднія ошибки этихъ величинъ (μ_x μ_y μ_z), вычисленныя для цѣлаго ряда значений x , y , z , повинуются слѣдующему закону:

$$\mu_z = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2}$$

т. е. средняя ошибка производной величины больше среднихъ ошибокъ независимыхъ переменныхъ. Слѣдовательно, и средняя ошибка величины испаренія должна быть больше среднихъ ошибокъ исходныхъ величинъ, осадковъ и стока.

Вышеприведенныя соображенія относятся, строго говоря, къ величинѣ „осадки — стокъ“, а не къ величинѣ испаренія, ибо мы еще ничего не сказали о томъ, насколько величина испаренія соотвѣтствуетъ величинѣ „осадки — стокъ“.

Противъ принятаго нами уравненія для рѣчныхъ бассейновъ: испареніе = осадки — стокъ, можно сдѣлать нѣсколько возраженій. Прежде всего это равенство основано на предположеніи, что вода, несомая рѣками въ море, исключительно атмосфернаго происхожденія, т. е. слѣдовательно, что единственнымъ источникомъ питанія рѣкъ являются осадки. Это положеніе, являющееся въ настоящее время общепринятымъ, однако далеко не всегда господствовало въ наукѣ. Главнымъ образомъ на основаніи предположенія о недостаточности атмосферныхъ осадковъ для питанія рѣкъ, принималось, что рѣки преимущественно питаются морскою водою, проникающей въ сушу. Предполагалось, что вода океановъ, непрерывно просачиваясь въ материка, медленно поднимается благодаря капиллярности до поверхности суши; или же, что просочившаяся вода, обратившись въ паръ отъ соприкосновенія съ раскаленною внутренностью земли, возгоняется къ верху, гдѣ она въ болѣе холодныхъ слояхъ суши конденсируется.

Замѣтимъ, что такія мнѣнія высказывались еще сравнительно недавно, (см. напр. Natterer: Chemische Untersuchungen im östlichen Mittelmeere. IV. Denkschriften. Ak. d. Wiss. Wien, math.-natw. Klasse LXI 1894; Stapf: Sitz-Ber. Ak. Wiss. Wien. Natw. Klasse CIV. Abt. II. 1895 p. 495). Сюда нужно отнести также теорію Suess'a о ювенильныхъ водахъ. Согласно этой теоріи, вода извѣстныхъ источниковъ образовалась въ нѣдрахъ земли благодаря соединенію водорода съ кислородомъ, и изливаясь въ этихъ источникахъ, впервые вступаетъ въ общій круговоротъ влаги на земной поверхности (отсюда и названіе ихъ) (см. Natw. Rundschau 1902. Suess. „Heisse Quellen“).

Всѣ эти теоріи, даже если онѣ оправдываются въ томъ или иномъ случаѣ, (напр. въ вулканахъ многими изслѣдователями допускается просачиваніе морской воды) въ общемъ, нужно думать, не могутъ поколебать основного взгляда, что атмосферная влага является главнымъ, можно сказать, единственнымъ источникомъ питанія рѣкъ. Режимъ грунтовыхъ водъ, которыми, помимо поверхностно стекающей дождевой

воды, питаются рѣки, показываетъ столько точекъ соприсношенія съ режимомъ атмосферныхъ осадковъ (см. S o u k a. Schwankungen des Grundwasserstandes. Geographische Abhandlungen, Penck, 1888), что происхождение ихъ изъ атмосферныхъ осадковъ едва ли можетъ подлежать сомнѣнiю.

На этомъ основанiи вышеприведенныя теорiи болѣе или менѣе оставлены, тѣмъ болѣе, что, какъ мы увидимъ ниже, атмосферныхъ осадковъ съ избыткомъ хватаетъ для покрытiя расходовъ рѣкъ.

Далѣе въ основѣ нашего уравненiя лежитъ еще предположенiе, что расходъ рѣки за продолжительный промежутокъ времени даетъ намъ цѣликомъ ту часть осадковъ, выпавшихъ въ бассейнѣ, которая не испарилась, т. е. предполагается, что просачиванiемъ воды въ нѣдра земли и подземнымъ стокомъ ея за предѣлы бассейна можно пренебречь.

Что касается просачиванiя воды въ нѣдра земли, то Пенкъ показалъ, что оно можетъ быть лишь весьма незначительнымъ. Дѣйствительно, при просачиванiи осадковъ въ нѣдра земли, должно было бы происходить прогрессивное пониженiе уровня океановъ; между тѣмъ, по мнѣнiю Пенка, за послѣднiя 2000 лѣтъ уровень океана не понизился даже на величину одного дециметра, что соотвѣтствовало бы слою осадковъ въ 0,254 m просочившемуся съ поверхности суши въ глубину земли. Принимая среднее количество осадковъ на сушѣ равнымъ 840 mm въ годъ (по Миггау, болѣе точное число далъ F r i t z s c h e см. гл. IX) или 1680 m въ 2000 лѣтъ, легко найти, что количество просочившейся воды должно быть ниже 0,15% количества осадковъ. Такую незначительную часть, гораздо меньшую ошибокъ при опредѣленiи количества осадковъ, можно конечно оставить безъ вниманiя.

Гораздо серьезнѣе нужно считаться съ тѣмъ обстоятельствомъ, что съ площади разсматриваемаго бассейна кромѣ стока воды по руслу рѣки, измѣряемаго расходомъ этой рѣки, можетъ существовать еще стокъ подземный, недоступный измѣренiю, но также уводящiй часть воды за предѣлы бассейна. При такихъ условiяхъ, очевидно, дѣйствительный стокъ больше измѣреннаго и равенъ расходу рѣки + подземная потеря. Слѣдовательно мы имѣемъ: осадки = испаренiе + расходъ + подземная потеря, или испаренiе = осадки — расходъ — подземная потеря. Значитъ, при существованiи подземной потери за предѣлы бассейна, безразлично совер-

шается ли она въ море или въ сосѣдній бассейнъ, величина испаренія меньше величины „осадки — стокъ“.

Наоборотъ, подобно тому, какъ происходитъ подземная потеря влаги, можетъ очевидно происходить и подземный притокъ влаги изъ сосѣднихъ бассейновъ. Легко видѣть, что мы въ этомъ случаѣ будемъ имѣть: испареніе = осадки — расходъ рѣки + подземный притокъ, т. е. въ этомъ случаѣ испареніе больше величины „осадки — расходъ“. Такимъ образомъ мы видимъ, что, при существованіи подземнаго притока или подземной потери влаги, величина испаренія остается неопредѣленной, ибо подземная циркуляція воды въ большинствѣ случаевъ недоступна измѣренію.

Возможность существованія подземнаго стока въ море не можетъ подлежать сомнѣнію. Это слѣдуетъ изъ сообщенія между грунтовыми водами и моремъ, доказаннаго опытами для многочисленныхъ прибрежныхъ мѣстъ. Извѣстнѣйшимъ примѣромъ являются нѣкоторыя озера Исландіи, уровень которыхъ зависитъ отъ приливовъ и отливовъ въ морѣ, что ясно указываетъ на существованіе подземной связи. Болѣе убѣдительнымъ доказательствомъ существованія въ извѣстныхъ мѣстностяхъ подземнаго стока въ море грунтовыхъ или точнѣе артезианскихъ водъ (если подъ этимъ названіемъ понимать грунтовую воду болѣе глубокихъ горизонтовъ, находящуюся подъ напоромъ) являются прѣсноводные источники въ морѣ, наблюдаемые у береговъ многихъ морей. Источники эти отличаются нерѣдко значительною силою, какъ напр. источникъ, находящійся къ югу отъ St. Augustine, гдѣ на разстояніи 3-хъ миль отъ берега сильная струя прѣсной воды пробивается сквозь воду Атлантическаго океана, поднимаясь надъ уровнемъ моря (см. Handbuch d. Ingenieurwiss. I. Abt. I. Teil. Wasserbau 1892. p. 52).

Подобно подземному стоку въ море, опытнымъ путемъ доказано въ иныхъ случаяхъ существованіе сообщенія между грунтовыми водами 2-хъ сосѣднихъ бассейновъ. Что касается количественной стороны выше указанныхъ случаевъ подземной потери или подземнаго притока влаги, то нужно думать, что въ общемъ влияніе ихъ не очень значительно. Это слѣдуетъ изъ того, что обыкновенно скатерть грунтовыхъ водъ слѣдуетъ за уклономъ поверхности почвы, поэтому и водораздѣльная линія 2-хъ бассейновъ будетъ въ общемъ соответствовать водораздѣлу грунтовыхъ водъ этихъ бассей-

новъ. Особенно малымъ будетъ значеніе указанныхъ процессовъ для большихъ бассейновъ; ибо чѣмъ больше площадь бассейна, тѣмъ меньше, очевидно, вліяніе стока или притока на предѣлахъ бассейна на общую величину стока бассейна. Это явствуетъ изъ того, что общій стокъ возрастаетъ пропорціонально площади бассейна, значеніе же периферическихъ процессовъ пропорціонально линейнымъ размерамъ его.

Въ пользу незначительности подземнаго стока въ море говорятъ изслѣдованія Келлера, нашедшаго, что, для сѣверо-германскихъ рѣкъ, широкою полосою граничащихъ съ моремъ, величина „осадки — расходъ рѣки“ является въ общемъ даже меньшей, чѣмъ слѣдовало бы ожидать на основаніи данныхъ другихъ бассейновъ. Очевидно, что это говоритъ противъ значительнаго подземнаго стока въ море, ибо въ послѣднемъ случаѣ нужно ожидать увеличенной величины „осадки — стокъ“.

Наконецъ замѣтимъ, что существуютъ бассейны, въ которыхъ геологическія условія исключаютъ возможность подземнаго стока за предѣлы бассейна или притока извнѣ. Такимъ, напр., является, какъ показалъ Пенкъ, бассейнъ богемской Эльбы. Очевидно, что совпаденіе результатовъ, полученныхъ для подобныхъ бассейновъ, съ результатами для другихъ бассейновъ (которое въ общемъ дѣйствительно наблюдается) даетъ намъ извѣстную увѣренность въ томъ, что вліяніе вышеуказанныхъ факторовъ, искажающихъ точность опредѣленія испаренія, не слишкомъ велико.

Наконецъ, мы должны указать еще на одно обстоятельство, сильно ограничивающее возможность точнаго опредѣленія величины испаренія на основаніи данныхъ объ осадкахъ и стокахъ. Дѣйствительно, наше уравненіе: осадки = испареніе + стокъ, предполагаетъ, что осадки цѣликомъ или испаряются или стекаютъ. Однако для короткихъ промежутковъ времени это равенство, въ общемъ, перестаетъ быть вѣрнымъ. Можетъ случиться, что осадки за извѣстный промежутокъ времени не испаряются или стекаютъ цѣликомъ за это время; тогда въ теченіе этого періода часть осадковъ осталась въ почвѣ, увеличивая запасъ влаги въ бассейнѣ. Въ такомъ случаѣ очевидно имѣетъ мѣсто слѣдующее уравненіе: осадки = испареніе + стокъ + прибыль запаса влаги въ бассейнѣ, или испареніе = осадки — стокъ —

прибыль запаса влаги. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ величина испаренія не равна величинѣ „осадки — стокъ“, а меньше ея на величину прибыли запаса влаги въ бассейнѣ.

Наоборотъ, можетъ случиться, что испареніе + стокъ будетъ больше количества осадковъ за извѣстный промежутокъ времени. Въ такомъ случаѣ, очевидно, происходитъ убыль запаса влаги въ бассейнѣ, и мы получаемъ уравненіе: осадки = испареніе + стокъ -- убыль запаса влаги, или испареніе = осадки — стокъ + убыль. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ испареніе больше величины „осадки — стокъ“ на величину убыли запаса влаги.

Такимъ образомъ мы получаемъ болѣе общее уравненіе такого вида: осадки = испареніе + стокъ + прибыль (или — убыль) запаса влаги. Уравненія эти даны Пенкомъ и Оппоковымъ, причемъ Пенкъ прибыль и убыль запаса влаги обозначаетъ терминами „Aufspeicherung“ и „Speisung“, а Оппоковъ — терминами „накопленіе“ и „расходование“.

Что въ природѣ могутъ происходить весьма значительныя колебанія запаса влаги, доказывается общеизвѣстнымъ фактомъ колебанія уровня грунтовыхъ водъ и влажности почвы. Очевидно, чѣмъ ниже уровень грунтовыхъ водъ и чѣмъ меньше влажность почвы, тѣмъ меньше запасъ влаги въ бассейнѣ, и наоборотъ. Хорошо извѣстенъ, на примѣръ, фактъ убыли запаса влаги лѣтомъ въ бассейнахъ русскихъ рѣкъ, и прибыль запаса зимою, чему особенно способствуетъ накопленіе влаги въ формѣ снѣга. (См. объ этомъ гл. VII).

Однако колебанія запаса влаги не ограничиваются лишь періодомъ одного года. Какъ показали наблюденія надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ, колебанія запаса влаги могутъ простираться на цѣлый рядъ годовъ. Обыкновенно такія колебанія уровня грунтовыхъ водъ слѣдуютъ за аналогичными колебаніями осадковъ, хотя съ нѣкоторымъ запаздываніемъ, и такъ же, какъ послѣднія часто обнимаютъ весьма значительныя пространства. Примѣры можно найти въ работѣ проф. Соука: Die Schwankungen des Grundwassers. Geograph. Abh. von Penck. Bd. II. 1888.

На основаніи нашихъ таблицъ объ осадкахъ и стокахъ рѣчныхъ бассейновъ также легко доказать существованіе колебаній изъ года въ годъ запаса влаги бассейновъ и большое вліяніе ихъ на величину стока этихъ бассейновъ.

Какъ указываетъ Оппоковъ для бассейна р. Днѣпра,

и какъ легко можно провѣрить при помощи таблицы, относящейся къ этому бассейну, годы, которымъ предшествовалъ годъ съ обильными осадками, отличаются большимъ стокомъ и незначительною величиною „осадки — стокъ“; наоборотъ, въ годы, которымъ предшествовалъ годъ съ незначительными осадками, стокъ обыкновенно малъ и величина осадковъ — стокъ сравнительно велика. Объясненіе кроется въ томъ, что въ первомъ случаѣ, запасъ влаги въ бассейнѣ великъ, благодаря обильнымъ осадкамъ предыдущаго года; поэтому, если осадки даннаго года не очень значительны, то обыкновенно происходитъ убыль запаса въ теченіе этого года, т. е. испареніе и стокъ потребляютъ не только влагу осадковъ разсматриваемаго года, но также и часть влаги изъ богатаго запаса влаги бассейна. Поэтому стокъ больше, чѣмъ слѣдовало бы ожидать на основаніи только осадковъ даннаго года, а величина „осадки — стокъ“ меньше истинной величины испаренія.

Наоборотъ въ началѣ года, которому предшествовалъ годъ съ незначительными осадками, запасъ влаги въ бассейнѣ малъ. Поэтому часть осадковъ въ теченіе этого года идетъ на пополненіе истощенныхъ запасовъ почвенной влаги, т. е. происходитъ прибыль запаса влаги въ бассейнѣ; вслѣдствіе этого стокъ является уменьшеннымъ, а величина осадки — стокъ больше истинной величины испаренія на величину прибыли.

Наглядное доказательство выше приведенныхъ соображеній для бассейна р. Днѣпра можно получить слѣдующимъ путемъ. Распредѣлимъ всѣ годы (начиная съ 1880 г.) въ группы по количеству осадковъ: въ первую группу войдутъ всѣ годы, для которыхъ количество осадковъ находится между предѣлами отъ 425 до 500 мм; вторая группа обнимаетъ осадки 450—525; третья: 475—550; четвертая: 400—475 и т. д. до седьмой: 575—650. Въ каждой группѣ образуемъ среднія величины осадковъ, стока и осадковъ—стокъ, отдѣльно для годовъ, которымъ предшествовалъ годъ съ осадками выше нормы (551 мм), и для годовъ, которымъ предшествовалъ годъ съ осадками ниже нормы. Такимъ образомъ мы получаемъ слѣдующія среднія величины осадковъ, стока и осадковъ — стокъ, въ I группѣ (9 лѣтъ): а) для годовъ съ предшествующимъ годомъ выше нормы: осадки 472; стокъ 128; осадки — стокъ 344 мм; б) для годовъ съ предшествующимъ

годомъ ниже нормы: 487; 107; 380. Вычисляя то же и для другихъ группъ, получаемъ слѣдующую таблицу:

	осадки ;	стокъ ;	осадки — стокъ ;	амплитуда осадковъ — стокъ.
425—500	{ a) 472 b) 487	{ 128 107	{ 344 380	93
450—525	{ a) 504 b) 487	{ 142 107	{ 362 380	93
475—550	{ a) 513 b) 500	{ 143 98	{ 370 402	109
500—575	{ a) 526 b) 519	{ 153 92	{ 373 427	109
525—600	{ a) 560 b) 570	{ 146 105	{ 415 466	122
550—625	{ a) 588 b) 599	{ 144 123	{ 444 476	162
575—650	{ a) 597 b) 609	{ 127 120	{ 470 489	107

Изъ этой таблицы мы видимъ, что во всѣхъ группахъ, безъ исключенія, для годовъ, которымъ предшествовалъ годъ съ осадками выше нормы, получается средняя величина стока бóльшая, а средняя величина осадки — стокъ меньшая, чѣмъ для годовъ, которымъ предшествовалъ годъ съ осадками ниже нормы, что объясняется, какъ мы видѣли, тѣмъ, что въ первомъ случаѣ происходитъ убыль запаса влаги въ бассейнѣ, во второмъ случаѣ — прибыль.

Чтобы получить, хотя бы приблизительно, представленіе о предѣлахъ, въ которыхъ колеблются величины прибыли и убыли изъ года въ годъ, мы въ предыдущей таблицѣ вычислили также амплитуду колебанія величины осадковъ — стокъ въ каждой группѣ. Мы видимъ, что колебанія этой величины доходятъ до весьма значительной величины 162 мм, и мы можемъ приблизительно считать эту величину за верхній предѣлъ суммы: прибыль одного года + убыль другого года; или приблизительно половину этой величины (80—100 мм) мы можемъ считать за верхній предѣлъ прибыли или убыли отдѣльно. Относительно этого предѣла нужно полагать, что онъ скорѣе слишкомъ великъ, чѣмъ слишкомъ малъ, ибо ко-

лебанія величины осадковъ — стокъ происходятъ подъ вліяніемъ еще цѣлаго ряда другихъ факторовъ, между прочимъ и отъ того, что величина осадковъ въ каждой группѣ колеблется въ предѣлахъ до 75 мм. Амплитуды колебанія величины осадковъ — стокъ, происходящаго подъ вліяніемъ только прибыли или убыли, были бы, вѣроятно, замѣтно меньше приведенныхъ въ таблицѣ.

Однако, если и предѣлъ величинъ прибыли и убыли ниже 100 мм, тѣмъ не менѣе, какъ видно изъ приведенной таблицы, вліяніе этихъ величинъ на величину „осадки — стокъ“ весьма замѣтно, такъ что разница между испареніемъ и осадками — стокъ можетъ быть весьма значительной. Такимъ образомъ годовая величина осадки — стокъ въ бассейнѣ р. Днѣпра не даетъ намъ истинной величины испаренія. Очевидно, однако, что если мы рассматриваемъ не одинъ годъ, а цѣлый рядъ годовъ, то величина „осадки — стокъ“ будетъ тѣмъ ближе соответствовать испаренію, чѣмъ больше годовъ мы беремъ, ибо въ такомъ случаѣ прибыль даннаго года будетъ компенсироваться убылью слѣдующаго года и т. д. На этомъ основаніи Оппоковъ рекомендуетъ образованіе 5-ти лѣтнихъ среднихъ, для которыхъ, нужно думать, равенство: осадки = испареніе + стокъ, или испареніе = осадки — стокъ, весьма близко къ истинѣ.

Указанное большое значеніе прибыли и убыли запаса влаги въ бассейнѣ р. Днѣпра нельзя конечно перенести и на другіе бассейны. Какъ мы увидимъ далѣе, большая роль этихъ величинъ въ бассейнѣ р. Днѣпра зависитъ главнымъ образомъ отъ хорошей водопроницаемости почвы въ этомъ бассейнѣ. Поэтому нужно думать, что въ бассейнахъ съ менѣе водопроницаемою почвою прибыль и убыль влаги будутъ менѣе значительны. Дѣйствительно, примѣненіе указаннаго способа къ менѣе проницаемымъ гористымъ бассейнамъ р. Залы и богемской Эльбы показываетъ меньшую закономерность результатовъ, чѣмъ получилось для бассейна р. Днѣпра. Мы увидимъ однако далѣе, что и въ этихъ бассейнахъ происходятъ колебанія изъ года въ годъ запаса влаги, хотя нужно думать, что разность между годовыми величинами испаренія и осадковъ — стокъ значительно меньше, чѣмъ для бассейна Днѣпра.

Выше мы указали на то, что точность величины испаренія меньше точности исходныхъ величинъ, осадковъ и стока,

и что среднія ошибки этихъ величинъ, μ_x μ_y μ_z , равныя суммѣ абсолютныхъ значеній ошибокъ данныхъ отдѣльныхъ лѣтъ, дѣленной на число лѣтъ, при большомъ числѣ годовъ повинуются слѣдующему закону: $\mu_z = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2}$. Покажемъ теперь, что разсматриваніе величины испаренія, полученной по формулѣ: осадки — стокъ, можетъ намъ дать въ извѣстныхъ случаяхъ критерій для сужденія о точности этой величины, а вмѣстѣ съ тѣмъ и о точности исходныхъ величинъ.

При взглядѣ на графикъ, изображающій ходъ измѣненія 5-тилѣтнихъ среднихъ испаренія, осадковъ и стока рѣки К р о т о н а, (черт. IV) бросается въ глаза замѣчательное постоянство величины испаренія, несмотря на значительныя колебанія величинъ осадковъ и стока. [То же самое ясно выступаетъ и для бассейна озера Cochituate (см. таблицы)].

Среднее отклоненіе величины испаренія отъ средней величины равно всего 20 мм или 3⁰/₀. Истинной величины средней ошибки приведенныхъ величинъ испаренія мы конечно не знаемъ, но, если положимъ ее равной среднему отклоненію (20 мм), то мы не уменьшаемъ, а вѣроятно увеличиваемъ ее, потому что это равносильно предположенію, что дѣйствительное испареніе остается постояннымъ, вовсе не слѣдуя за колебаніями величины осадки — стокъ; т. е. мы предполагаемъ, что колебанія вычисленной величины испаренія цѣликомъ происходятъ отъ ошибокъ, хотя на самомъ дѣлѣ онѣ отчасти будутъ соответствовать колебаніямъ истинной величины испаренія.

Итакъ 20 мм мы можемъ считать за верхній предѣлъ средней ошибки отдѣльныхъ 5-тилѣтнихъ величинъ испаренія, слѣдовательно, на основаніи формулы $\mu_z = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2}$, мы имѣемъ $\sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2} \leq 20$ мм, т. е. среднія ошибки отдѣльныхъ 5-тилѣтнихъ среднихъ осадковъ и стока будутъ значительно меньше 20 мм.

Такъ какъ средняя ошибка однолѣтней величины будетъ въ $\sqrt{5} = 2,24$ раза больше средней ошибки пятилѣтнихъ среднихъ, то, если обозначимъ первыя ошибки черезъ M_x M_y M_z , мы имѣемъ $M_z = 20 \cdot \sqrt{5} = 45$ мм; $\sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 45$ мм. При помощи однолѣтнихъ величинъ мы находимъ, поступая съ ними также, какъ съ 5-тилѣтными, $M_z = 55$; $\sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 55$. Сравнительно небольшая разница противъ предыдущей величины объясняется небольшимъ числомъ данныхъ (всего 19). Принимая $M_z = 50$, мы имѣемъ $\sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 50$; полагаая

$M_x = M_y$ (что конечно нѣсколько произвольно), мы получаемъ $M_x = M_y = 35$ мм, что составляетъ всего 2,7% средней величины осадковъ или 6% средней величины стока.

Прилагая тѣ же разсужденія къ величинамъ относящимся къ бассейну р. Susquehanna (13 лѣтъ), мы получаемъ еще меньшія среднія ошибки отдѣльныхъ годовыхъ величинъ: $M_z = 21$ мм = 4,8%; $\sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 21$ мм; полагая $M_x = M_y$, мы имѣемъ $M_x = M_y = 15$ мм, что составляетъ 1,5% средней величины осадковъ или 2,8% средней величины стока.

Вышеприведенныя разсужденія конечно не претендуютъ на точность, для этого уже и число годовъ является слишкомъ малымъ. Кромѣ того нельзя упускать изъ виду, что найденныя величины M_x , M_y , M_z относятся только къ случайнымъ ошибкамъ (это слѣдуетъ изъ того, что мы приняли среднее арифметическое величинъ испаренія за истинную величину испаренія), т. е. такимъ ошибкамъ, которыя то положительны, то отрицательны, и въ среднемъ за много лѣтъ другъ друга компенсируютъ. Сюда не входятъ систематическія ошибки, существованіе которыхъ весьма возможно, и для величины осадковъ даже весьма вѣроятно. Такою систематическою ошибкою является недолавливаніе осадковъ дождемѣрами. Вслѣдствіе этого истинное многолѣтнее среднее осадковъ больше найденной средней величины, а слѣдовательно и истинная величина испаренія больше величины осадковъ — стокъ. Очевидно, что вслѣдствіе этого величины M_z и $\sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ должны нѣсколько увеличиться. Съ другой стороны, какъ мы выше указали, найденныя величины M_z и $\sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ представляютъ собою лишь верхніе предѣлы среднихъ величинъ случайныхъ ошибокъ, вслѣдствіе этого найденныя величины M_z и $\sqrt{M_x^2 + M_y^2}$ необходимо опять нѣсколько уменьшить.

Какъ бы то ни было, на основаніи выше приведенныхъ примѣровъ, позволительно думать, что ошибки величинъ осадковъ, стока и испаренія, всетаки, не такъ велики, чтобы обезнадежить всякую попытку вывести какія-нибудь закономѣрныя связи между ними. Онѣ даже меньше, чѣмъ можно было ожидать на основаніи предыдущихъ разсужденій.

Глава II.

Вліяніє климатическихъ факторовъ на испареніе и стокъ съ рѣчныхъ бассейновъ.**А. Вліяніє осадковъ.**

Обратимся теперь къ болѣе детальному разсмотрѣнію величинъ стока и испаренія, опредѣляемаго уравненіемъ : испареніе = осадки — стокъ.

Какъ показываютъ таблицы, приведенныя въ концѣ работы, эти величины, конечно, далеко не постоянны, такъ же, какъ и величина осадковъ. Онѣ мѣняются не только при переходѣ отъ одного бассейна къ другому, но и отъ одного года къ другому въ одномъ и томъ же бассейнѣ. Такая измѣнчивость является, однако, вполне понятной, если принять во вниманіе, что испареніе и стокъ зависятъ отъ цѣлага ряда различныхъ факторовъ.

Что касается факторовъ, вліяющихъ на величину испаренія, а слѣдовательно и на величину стока, то ихъ можно раздѣлить на факторы климатическіе и физико-геологическіе. Изъ факторовъ климатическихъ, вліяніе которыхъ мы разсмотримъ въ этой главѣ, слѣдуетъ поставить на первомъ мѣстѣ: осадки, недостатокъ насыщенія, температуру, инсоляцію и вѣтеръ. Затѣмъ идетъ рядъ факторовъ, также иногда весьма важныхъ: распредѣленіе осадковъ по временамъ года, характеръ выпаденія ихъ (въ видѣ ливней или мелкихъ дождей), характеръ зимы и состояніе снѣжнаго покрова въ теченіе зимы, быстрота таянія его и т. д. Физико-геологическіе факторы обнимаютъ свойства почвы бассейна, характеръ его поверхности (растительнаго покрова) и рельефа; вліяніе ихъ мы разсмотримъ ниже.

Относительно характера вліянія всѣхъ этихъ факторовъ, можно установить слѣдующее общее положеніе: чѣмъ меньше площадь бассейна, тѣмъ больше будутъ колебанія всѣхъ указанныхъ величинъ. Съ увеличеніемъ площади бассейна колебанія отчасти компенсируются, вслѣдствіе того, что въ различныхъ частяхъ бассейна отклоненія отъ нормы разсматриваемой величины могутъ быть различнаго знака. Вслѣдствіе этого для большихъ бассейновъ вліяніе второстепенныхъ факторовъ опускается ниже предѣловъ ошибокъ при измѣреніи, такъ что имъ можно пренебречь. Такимъ образомъ

остається только вліяніє главныхъ факторовъ и разборъ причинъ измѣненія величины испаренія нѣсколько упрощается.

Обратимся теперь къ разсмотрѣнію вліянія осадковъ, а именно годовой величины ихъ, на величину испаренія и стока. Замѣтимъ, что при разсматриваніи зависимости между осадками и стокомъ или испареніемъ обыкновенный календарный годъ является нѣсколько неудобнымъ, вслѣдствіе того, что часть осадковъ календарнаго года, а именно осадки, выпадающіе къ концу года въ видѣ снѣга, стекаютъ не въ данномъ году, а лишь весною слѣдующаго; наоборотъ, весною разсматриваемаго года стекаютъ не только осадки, выпавшіе въ началѣ этого года, но и запасъ снѣга, накопившійся къ концу предыдущаго года. Мы видимъ, слѣдовательно, что при обыкновенномъ счетѣ годовъ осадки и стокъ не соотвѣтствуютъ другъ другу по времени. Конечно, полного соотвѣтствія между осадками и стокомъ нельзя достигнуть никакимъ счетомъ годовъ; это слѣдуетъ изъ того, что мы выше говорили о вліяніи прибыли и убыли. Мы можемъ однако достигнуть значительно лучшаго соотвѣтствія между осадками и стокомъ, если перенести начало счисленія года, примѣрно, на 1-ое ноября, какъ совѣтуетъ проф. Уле; такой годъ онъ называетъ гидрологическимъ. Другими авторами предложены другія числа для начала счисленія года; Гейнцъ, напр., считаетъ годы отъ 1-го августа; Ноутъ отъ 1-го октября. Эти разницы повидимому довольно безразличны. Важно, чтобы начало счисленія года падало на такое время года, въ которомъ колебанія запаса влаги изъ года въ годъ возможно малы. Очевидно, что зимнее время года для этого не пригодно, ибо запасъ снѣга можетъ сильно колебаться изъ года въ годъ, такъ какъ представляетъ собою накопленіе осадковъ нѣсколькихъ мѣсяцевъ. Также нежелательно перенесеніе начала года на лѣтнее время, ибо въ это время запасъ влаги достигаетъ минимума, который также подверженъ сильнымъ колебаніямъ изъ года въ годъ. Повидимому наиболѣе раціональнымъ является начинать счисленіе года осенью, когда въ общемъ запасъ влаги достигаетъ нормальной величины (конечно это различно для различныхъ рѣкъ); для русскихъ рѣкъ можно было бы начало гидрологическаго года приурочить къ 1-му октябрю.

Зависимость между осадками и испареніемъ или стокомъ ясно выступаетъ на графикахъ, изображающихъ ходъ годовыхъ

величинъ осадковъ, испаренія и стока для нѣкоторыхъ бассейновъ нашихъ таблицъ (см. чертежи I, II, III, IV). Сравнивая однако эти графики между собою, мы видимъ, что характеръ этой зависимости весьма различенъ для различныхъ бассейновъ. Для бассейна Оки, напр., мы видимъ соотвѣтствіе между ходомъ испаренія и ходомъ осадковъ, между тѣмъ какъ между ходомъ осадковъ и стока почти никакого соотвѣтствія не наблюдается.

Совершенно обратное явленіе наблюдается на графикахъ р. Кротона и Дальэльфа. Тутъ мы видимъ несравненно лучшее соотвѣтствіе между осадками и стокомъ, чѣмъ между осадками и испареніемъ.

Богемская Эльба занимаетъ среднее между этими крайностями положеніе. Для нея зависимость отъ осадковъ приблизительно одинаково ясно выражена и для испаренія и для стока.

Различная зависимость испаренія и стока отъ осадковъ въ различныхъ бассейнахъ еще яснѣе выступаетъ, если величины испаренія или стока нанести на графикъ въ видѣ точекъ, абсциссы которыхъ равны количеству осадковъ, а ординаты величинѣ испаренія resp. стока (см. чертежи XI, XII, XIII).

Для Оки мы видимъ гораздо большую закономерность расположенія точекъ испаренія, — которыя ясно повышаются съ возрастаніемъ осадковъ, — чѣмъ для точекъ стока, что вполне соотвѣтствуетъ тому, что мы выше сказали о зависимости между осадками и испареніемъ или стокомъ. Для р. Дальэльфъ мы видимъ обратное явленіе, для Эльбы же наблюдаемъ закономерность расположенія какъ точекъ испаренія, такъ и точекъ стока.

При помощи этихъ графиковъ можно также пытаться выразить зависимость между осадками и испареніемъ или стокомъ какимъ-либо уравненіемъ. Одинъ взглядъ на приведенные графики, показывающіе большія неправильныя уклоненія отъ закономерной зависимости, убѣждаетъ насъ въ томъ, что вполне достаточно отыскивать для cadaго бассейна линейное уравненіе между осадками и испареніемъ (resp. стокомъ). Наиболѣе простымъ способомъ найти такую зависимость является проведеніе прямой на графикѣ, наиболѣе близко подходящей къ группировкѣ точекъ, и опредѣленіе ея уравненія при помощи сѣти координатъ на графикѣ.

Относительно этихъ прямыхъ замѣтимъ слѣдующее.

Очевидно, что если точки испарения группируются вокруг некоторой прямой с уравнением $z = ax + b$, то и точки стока группируются вокруг прямой с уравнением $y = (1 - a)x - b$, ибо $y + z = x$. Это слѣдуетъ изъ того, что отрѣзки ординатъ заключающіеся между точками испарения и прямой $z = ax + \beta$, и между точками стока и прямой $y = (1 - a)x - \beta$ равны между собою, какъ бы ни мѣнялись величины a и β , а потому, если для $a = a$, $\beta = b$, сумма отрѣзковъ ординатъ между точками испарения и прямою $ax + b$ будетъ минимумъ, то и сумма отрѣзковъ ординатъ между точками стока и прямою $(1 - a)x - b$ будетъ минимумъ. (Конечно то же самое будетъ имѣть мѣсто, если мы опредѣляемъ прямая такъ, чтобы сумма квадратовъ отрѣзковъ была минимумомъ). Итакъ среднія отклоненія точекъ испарения и стока отъ соответственныхъ прямыхъ равны между собою, или, что то же самое, среднія ошибки, допускаемая при вычисленіи испарения и стока по найденнымъ формуламъ равны между собою.

Но тѣмъ не менѣе точки одной изъ разсматриваемыхъ величинъ, именно той, для которой прямая образуетъ большій уголъ съ осью абсциссъ, группируются болѣе тѣсно вокругъ прямой, чѣмъ точки другой, потому что въ первомъ случаѣ перпендикулярное разстояніе каждой точки отъ прямой, равное отрѣзку ординаты, расположенному между точкой и прямой, помноженному на \cos угла между прямою и осью абсциссъ, будетъ меньше, чѣмъ во второмъ случаѣ. Это ясно видно, напр., на черт. XI и XII.

Очевидно, на основаніи предыдущаго слѣдуетъ, что точки той величины, ходъ которой показываетъ большее соответствіе съ ходомъ осадковъ располагаются вокругъ прямой, образующей большій уголъ съ осью абсциссъ, вмѣстѣ съ тѣмъ болѣе тѣсно группируясь вокругъ нея. Сказанное будетъ ясно, если сравнить чертежи I съ одной и XI съ другой стороны.

Приведемъ теперь таблицу, показывающую зависимость испарения и стока отъ осадковъ въ различныхъ бассейнахъ. x = осадки; y = стокъ; z = испареніе; x_0, y_0, z_0 среднія величины.

1) Ока (до Орла)	$\left. \begin{array}{l} z = 0,90 x - 58 \\ y = 0,10 x + 58 \end{array} \right\} x_0 = 555; z_0 = 441; y_0 = 114; y_0/x_0 = 0,205$
2) Днѣпръ (до Кіева)	$\left. \begin{array}{l} z = 0,95 x - 95 \\ y = 0,05 x + 95 \end{array} \right\} x_0 = 551; z_0 = 428; y_0 = 123; y_0/x_0 = 0,225$

- | | |
|-------------------------------|---|
| 3) Зала | $\left. \begin{array}{l} z = 0,70x + 20 \\ y = 0,30x - 20 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=613; z_0=445; y_0= \\ = 168; y_0/x_0 = 0,274 \end{array}$ |
| 4) Майнъ | $\left. \begin{array}{l} z = 0,75x - 26 \\ y = 0,25x + 26 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=657; z_0=470; y_0= \\ = 187; y_0/x_0 = 0,285 \end{array}$ |
| 5) Эльба. богемская | $\left. \begin{array}{l} z = 0,58x + 104 \\ y = 0,42x - 104 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=692; z_0=500; y_0= \\ = 192; y_0/x_0 = 0,278 \end{array}$ |
| 6) | $\left. \begin{array}{l} \text{до Тиссы-Уйлака: } z = 0,09x + 467 \\ y = 0,91x - 467 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=1174; z_0=574; y_0= \\ = 600; y_0/x_0 = 0,511 \end{array}$ |
| 7) | $\left. \begin{array}{l} \text{до Ташкони: } z = 0,31x + 287 \\ y = 0,69x - 287 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=795; z_0=537; y_0= \\ = 258; y_0/x_0 = 0,324 \end{array}$ |
| 8) Тисса | $\left. \begin{array}{l} \text{отъ Тиссы-Уйлака} \\ \text{до Ташкони} \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} z = 0,37x + 256 \\ y = 0,63x - 256 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=732; z_0=530; y_0= \\ = 202; y_0/x_0 = 0,276 \end{array}$ |
| 9) | $\left. \begin{array}{l} \text{до Сегедина: } z = 0,42x + 216 \\ y = 0,58x - 216 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=710; z_0=514; y_0= \\ = 196; y_0/x_0 = 0,276 \end{array}$ |
| 10) | $\left. \begin{array}{l} \text{отъ Ташкони} \\ \text{до Сегедина: } \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} z = 0,55x + 147 \\ y = 0,45x - 147 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=631; z_0=493; y_0= \\ = 138; y_0/x_0 = 0,219 \end{array}$ |
| 11) Susquehanna | $\left. \begin{array}{l} z = 0,05x + 411 \\ y = 0,95x - 411 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=997; z_0=463; y_0= \\ = 534; y_0/x_0 = 0,535 \end{array}$ |
| 12) Кротонъ | $\left. \begin{array}{l} z = 0,12x + 523 \\ y = 0,88x - 523 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=1253; z_0=674; y_0= \\ = 579; y_0/x_0 = 0,462 \end{array}$ |
| 13) Дальэльфъ | $\left. \begin{array}{l} z = 0,05x + 140 \\ y = 0,95x - 140 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_0=612; z_0=163; y_0= \\ = 449; y_0/x_0 = 0,73 \end{array}$ |

Уравненія для бассейна р. Тиссы заимствованы изъ работы Вуевича; остальные уравненія найдены указаннымъ способомъ. Уравненія эти, конечно, не могутъ претендовать на точность; это уже слѣдуетъ изъ небольшой точности исходнаго матеріала, вслѣдствіе которой мы не сочли нужнымъ вывести уравненія по болѣе строгому методу (напр., по способу наименьшихъ квадратовъ).

Стокъ съ бассейна рѣки Днѣпра оказывается почти независимымъ отъ осадковъ. Уравненіе для стока получено на основаніи уравненія для испаренія; въ дѣйствительности точки стока не показываютъ почти никакой зависимости отъ осадковъ. Интересно, что между стокомъ и осадками получается болѣе ясно выраженная зависимость, если сравнить стокъ съ осадками предыдущаго года, чѣмъ если брать одновременныя величины, причемъ въ томъ и другомъ случаѣ берутся гидрографическіе годы (съ 1-го ноября). Въ вѣрности сказаннаго можно легко убѣдиться при помощи графика.

Этотъ результатъ подтверждается также математическимъ анализомъ: коэффициентъ корреляціи для одновременныхъ величинъ осадковъ и стока въ бассейнѣ Днѣпра получается равнымъ 0,102 съ вѣроятною ошибкою равною 0,13; (это указываетъ на то, что вліяніе осадковъ совершенно прикрывается вліяніемъ другихъ факторовъ); если же комбинировать стокъ съ осадками предыдущаго года, то коэффициентъ корреляціи получается равнымъ 0,309 съ вѣроятною ошибкою 0,12. Во второмъ случаѣ значительно большій коэффициентъ корреляціи, т. е. болѣе ясно выраженная зависимость. Этимъ опять подтверждается большая роль прибыли и убыли запаса влаги въ бассейнѣ Днѣпра.

Точность вышеприведенныхъ уравненій не велика, какъ видно изъ графиковъ, въ которыхъ точки испаренія и стока замѣтно уклоняются отъ проведенныхъ прямыхъ. Однако большей точности и нельзя было ожидать, если принять во вниманіе, что испареніе зависитъ не только отъ осадковъ, но и отъ цѣлага ряда другихъ факторовъ.

Для рѣки Эльбы средняя ошибка при вычисленіи испаренія или стока по вышеприведеннымъ формуламъ равна 16 мм, что составляетъ 3% средней величины испаренія или 8% средней величины стока. Для Днѣпра средняя ошибка равна 31 мм, или т. е. точность значительно меньше.

Для бассейна рѣки Залы мы получаемъ среднюю ошибку равную 18 мм = 4%.

Вышеприведенная таблица показываетъ намъ, что уравненія для испаренія и стока различныхъ бассейновъ совершенно не сходны между собою. Это доказываетъ невозможность найти общее для всѣхъ бассейновъ линейное уравненіе. Къ этому вопросу мы вернемся еще ниже.

Такъ же, какъ на основаніи графиковъ, мы можемъ на основаніи вышеприведенныхъ уравненій различать 2 типа бассейновъ. Въ первомъ типѣ, къ которому принадлежать бассейны Днѣпра и Оки, мы видимъ быстрое возрастаніе испаренія съ осадками (прямая испаренія образуетъ значительный уголъ, почти равный 45° , съ осью абсциссъ), между тѣмъ какъ величина стока почти независима отъ осадковъ (прямая стока почти параллельна оси абсциссъ). Во второмъ типѣ, примѣрами котораго могутъ служить бассейны рѣки Кротона и Дальэльфа, мы видимъ возрастаніе стока съ осадками, въ то время какъ испареніе отъ осадковъ почти не зависитъ;

наклонъ прямыхъ къ оси абсциссъ въ этомъ случаѣ обратный. Наконецъ промежуточное положеніе занимають бассейны Эльбы и Залы, въ которыхъ и испареніе, и стокъ возрастаютъ съ осадками, причеъ однако углы наклона соотвѣтствующихъ прямыхъ занимають промежуточное положеніе между указанными выше крайними положеніями, т. е. между 0° и 45° .

Скажемъ теперь нѣсколько словъ о томъ, чѣмъ объясняется указанное различіе въ зависимости испаренія и стока отъ осадковъ въ различныхъ бассейнахъ. Объясненіе кроется въ характерѣ величины испаренія. Дѣйствительно, мы можемъ представить себѣ зависимость испаренія даннаго бассейна отъ осадковъ въ видѣ нѣкоторой кривой, которая должна обладать слѣдующими свойствами. Для небольшихъ x -овъ (= осадковъ) уголъ наклона этой кривой (которую на небольшомъ протяженіи отъ начала координатъ можно замѣнить прямою) къ оси абсциссъ долженъ равняться 45° ; это означаетъ, что при очень небольшихъ осадковъ все количество осадковъ испаряется. Съ возрастаніемъ осадковъ увеличивается, конечно, и величина испаренія, но это увеличеніе не можетъ продолжаться безгранично, ибо испареніе любого бассейна, такъ же какъ и испареніе свободной водной поверхности имѣетъ свой верхній предѣлъ, опредѣляемый какъ климатическими, такъ и физико-геологическими условіями разсматриваемаго бассейна. Это максимальное возможное испареніе будетъ достигнуто тогда, когда осадковъ выпадаетъ достаточно для того, чтобы растительный покровъ и почва не терпѣли недостатка во влагѣ для испаренія. Очевидно, что дальнѣйшее возрастаніе осадковъ уже больше не вліяетъ на величину испаренія; слѣд. наклонъ кривой испаренія къ оси абсциссъ становится равнымъ нулю и кривая переходитъ въ прямую, параллельную оси абсциссъ. Въ промежуткѣ между этими крайними частями кривой, очевидно, уголъ наклона ея долженъ постепенно уменьшаться отъ 45° до 0° , что можно выразить словами такъ: съ приближеніемъ къ предѣльной величинѣ испаренія, все меньшая часть даннаго прироста осадковъ идетъ на испареніе, все бѣльшая идетъ на стокъ, пока наконецъ, по достиженію максимума испаренія, дальнѣйшій приростъ осадковъ цѣликомъ идетъ на стокъ.

Такимъ образомъ мы находимъ слѣдующій общій ха-

ракторъ кривой испаренія: для $x=0$, уголъ наклона кривой равенъ 45° ; съ возрастаніемъ x происходитъ и возрастаніе испаренія, но съ все большимъ замедленіемъ, т. е. съ все большимъ уменьшеніемъ угла наклона къ оси абсциссъ; наконецъ по достиженію максимальной величины испаренія уголъ наклона равенъ 0° , и кривая переходитъ въ прямую, параллельную оси абсциссъ.

Очевидно, что указаннымъ видомъ кривой испаренія опредѣляется и видъ кривой стока. Измѣненіе угла наклона ея обратный вышеописанному для кривой испаренія. Для $x=0$ уголъ наклона равенъ 0 , кривая совпадаетъ съ осью абсциссъ; съ возрастаніемъ осадковъ уголъ наклона все увеличивается, и когда кривая испаренія переходитъ въ прямую, параллельную оси абсциссъ, кривая стока переходитъ въ прямую, образующій съ осью абсциссъ уголъ равный 45° .

Данныя въ таблицѣ уравненія прямыхъ для испаренія и стока различныхъ бассейновъ соотвѣтствуютъ, очевидно, отрѣзкамъ кривыхъ испаренія или стока, которые въ предѣлахъ наблюдаемыхъ осадковъ можно замѣнить прямыми. Изъ этого слѣдуетъ, что значеніе указанныхъ линейныхъ уравненій весьма ограничено и ихъ ни въ коемъ случаѣ нельзя обобщать для любыхъ величинъ независимой переменнѣй.

Было бы также ошибочно полагать, что прямая испаренія различныхъ бассейновъ представляютъ собою отрѣзки нѣкоторой общей кривой испаренія. Весьма важно отмѣтить, что кривыя испаренія различны для различныхъ бассейновъ. Несмотря на общій характеръ этихъ кривыхъ, различіе происходитъ отъ того, какъ мы увидимъ ниже, предѣлъ возможнаго испаренія различенъ для различныхъ бассейновъ.

Изъ сказаннаго ясно, чѣмъ обусловливается различный наклонъ прямыхъ испаренія въ бассейнахъ I-го и II-го типа. Въ бассейнахъ I-го типа (съ быстро возрастающимъ испареніемъ въ зависимости отъ осадковъ) прямая испаренія, въ предѣлахъ возможныхъ осадковъ, представляетъ собою первую часть кривой испаренія, образующую значительный уголъ наклона съ осью абсциссъ, т. е. для нихъ величина испаренія еще далека отъ возможнаго максимума. Въ главѣ о растительномъ покровѣ мы увидимъ, что испареніе съ бассейновъ Оки и Днѣпра, принадлежащихъ къ этому типу, насколько можно судить по имѣющимся даннымъ, дѣйствительно, весьма далеко отъ возможнаго максимума.

Наоборотъ II типъ, въ которомъ испареніе почти независимо отъ осадковъ, обнимаетъ собою бассейны, въ которыхъ дѣйствительное испареніе почти равно возможному максимуму; прямая испаренія соотвѣтствуетъ той части кривой испаренія, которая переходитъ въ прямую параллельную оси абсциссъ.

Наклонъ прямыхъ испаренія промежуточныхъ бассейновъ не требуетъ дальнѣйшихъ разъясненій.

Такимъ образомъ мы видимъ, что характеръ зависимости испаренія отъ осадковъ обуславливается разницею между максимальнымъ и дѣйствительнымъ испареніемъ. Наглядный примѣръ представляютъ собою составныя части бассейна р. Тиссы, данныя которыхъ приведены въ таблицѣ. Разсматривая эти составныя бассейны въ порядкѣ вверхъ по рѣкѣ, мы видимъ, что въ этомъ порядкѣ возрастаютъ среднія количества осадковъ и вмѣстѣ съ тѣмъ среднія величины испаренія. Очевидно, что въ этомъ же направленіи уменьшается разность между максимальнымъ и дѣйствительнымъ испареніемъ. Это слѣдуетъ не только изъ возрастанія вверхъ по рѣкѣ дѣйствительнаго испаренія и осадковъ, но и изъ того, что вверхъ по рѣкѣ уменьшается средняя годовая температура (согласно Вуевичу, среднія годовыя температуры составныхъ бассейновъ, расположенныхъ въ указанномъ порядкѣ, равны $10^{\circ},0$; $9^{\circ},1$; $8^{\circ},9$; $8^{\circ},65$; $7^{\circ},83$) вслѣдствіе чего уменьшается возможное максимальное испареніе. Указанному уменьшенію разницы между максимальнымъ и дѣйствительнымъ испареніемъ вверхъ по рѣкѣ соотвѣтствуетъ, какъ видно изъ таблицы уравненій, рѣзкое уменьшеніе угла наклона прямыхъ испаренія.

Какъ мало можно судить о характерѣ прямой испаренія на основаніи только средней величины осадковъ, можно видѣть изъ сравненія бассейновъ рр. Залы и Дальэльфа. При одномъ и томъ же количествѣ осадковъ, углы наклона прямыхъ испаренія (такъ же какъ и среднія величины испаренія) совершенно различны: для р. Дальэльфа мы получаемъ значительно меньшій уголъ наклона къ оси абсциссъ, прямая его почти параллельна оси абсциссъ. Очевидно, это объясняется значительно меньшимъ возможнымъ максимумомъ испаренія въ бассейнѣ р. Дальэльфа, обуславливаемымъ болѣе холоднымъ климатомъ.

Нѣкоторое указаніе на характеръ зависимости испаренія

или стока отъ осадковъ можетъ намъ дать коэффициентъ стока. Обыкновенно, когда средній коэффициентъ стока выше 50%, испареніе уже приближается къ максимальной величинѣ и слабо возрастаетъ съ увеличеніемъ осадковъ, между тѣмъ какъ стокъ быстро возрастаетъ. Чѣмъ меньше коэффициентъ стока, тѣмъ въ общемъ больше уголъ наклона прямой испаренія, и, наоборотъ, тѣмъ меньше уголъ наклона прямой стока.

Кромѣ указаннаго главнаго фактора, обуславливающаго характеръ зависимости испаренія или стока отъ осадковъ, существуетъ еще факторъ, вліяніе котораго также можетъ быть весьма замѣтнымъ, а именно распредѣленіе осадковъ по временамъ года.

Прежде всего замѣтимъ, что характеръ зависимости испаренія или стока отъ осадковъ въ одномъ и томъ же бассейнѣ можетъ быть весьма различнымъ, смотря по тому разсматриваемъ ли мы зимнее или лѣтнее полугодіе. Возьмемъ для примѣра бассейнъ р. Залы (см. черт.). Если мы, подобно тому, какъ мы это сдѣлали для годовыхъ величинъ, нанесемъ на графикъ точки испаренія зимняго (съ ноября по апрѣль) и лѣтняго (съ мая по октябрь) полугодій, то точки испаренія послѣдняго полугодія весьма тѣсно группируются вокругъ прямой съ уравненіемъ: $z = 0,76x + 29$, точки зимняго полугодія группируются, хотя менѣе закономѣрно, вокругъ прямой $z = 0,43x + 26$, т. е. мы видимъ, что уголъ наклона для лѣтней прямой испаренія значительно больше, чѣмъ для зимней. Замѣтимъ, мимоходомъ, что различный характеръ зависимости испаренія отъ осадковъ въ оба полугодія является также одною изъ причинъ отклоненій отъ закономѣрной зависимости между годовыми величинами испаренія и осадковъ. Очевидно, что увеличеніе осадковъ лѣтомъ, какъ видно, напр., изъ выше приведенныхъ уравненій для бассейна р. Залы, будетъ въ большей степени увеличивать испареніе, чѣмъ увеличеніе осадковъ зимою. Поэтому, въ бассейнахъ, въ которыхъ не происходитъ значительной прибыли или убыли запаса влаги отъ одного полугодія къ другому, рациональнѣе разсматривать зависимость между осадками и испареніемъ (или стокомъ) для cadaго полугодія отдѣльно.

Наклонъ прямой испаренія для годовыхъ величинъ будетъ представлять среднее между прямыми лѣтняго и зимняго полугодій; но очевидно, что годовая прямая будетъ больше соответствовать прямой испаренія того изъ полуго-

дій, въ которомъ выпадаетъ большее количество осадковъ. Такъ, для р. Залы уголъ наклона прямой годовыхъ величинъ испаренія ($tga = 0,70$) находится между углами наклона лѣтней и зимней прямыхъ, но ближе къ наклону лѣтней прямой ($tga_1 = 0,78$), благодаря тому, что количество лѣтнихъ осадковъ значительно больше зимнихъ (см. чертежи 7, 8).

Другой интересный примѣръ представляетъ собою р. Кро-тонъ. Какъ показываетъ найденное для годовыхъ величинъ уравненіе, испареніе почти независимо отъ осадковъ, откуда можно было бы заключить, что дѣйствительное испареніе уже очень близко къ возможному максимуму. Однако, если нанести на графикъ данныя Раfter'омъ величины испаренія лѣтнихъ мѣсяцевъ (VI—VIII), то видно, что соотвѣтствующія точки располагаются вокругъ прямой, образующей весьма значительный уголъ съ осью абсциссъ, что указываетъ на то, что величина лѣтняго испаренія еще далека отъ возможнаго максимума. Незначительный уголъ наклона прямой для годовыхъ величинъ объясняется тѣмъ, что на характеръ годовой прямой гораздо сильнѣе вліяютъ данныя остальныхъ временъ года, чѣмъ лѣтнія данныя, ибо на лѣтніе мѣсяцы падаетъ лишь сравнительно небольшая часть всей годовой величины осадковъ (345 мм изъ 1253 мм), (см. чертежи 5, 6, 10).

Такимъ образомъ мы видимъ, что характеръ зависимости годовыхъ величинъ испаренія и стока отъ осадковъ отчасти обуславливается также распредѣленіемъ осадковъ по временамъ года.

Замѣтимъ наконецъ, что отчасти въ данномъ отношеніи вліяютъ и прибыль или убыль запаса влаги, благодаря которымъ, какъ мы видѣли, величина „осадки — стокъ“ для большихъ осадковъ уменьшена по сравненію съ испареніемъ, для малыхъ осадковъ увеличена. Очевидно, что вслѣдствіе этого въ бассейнахъ, отличающихся хорошою водопроницаемостью почвы, уголъ наклона прямой испаренія нѣсколько увеличивается.

Пенкъ, продолжая кривую стока богемской Эльбы до пересѣченія съ осью абсциссъ, находитъ, что стокъ съ ея бассейна прекратился бы при количествѣ осадковъ равномъ 280—350 мм. Величина эта, если допустить неизмѣнность процентнаго распредѣленія по временамъ года, является довольно правдоподобной. Дѣйствительно, въ такомъ случаѣ на зимнее полугодіе приходится 100—120, на лѣтнее 180—220 мм

осадковъ. Такія количества и въ томъ и въ другомъ полугодіи вполне могутъ испариться. Въ общемъ однако указанный способъ далеко не всегда будетъ давать сколько-нибудь надежныхъ результатовъ. Прежде всего, какъ мы уже выше указывали, прямыя стока имѣютъ лишь ограниченное значеніе. Дѣйствительная зависимость стока отъ осадковъ представляетъ собою кривую; а потому продолженіе прямой, внѣ предѣловъ наблюдаемыхъ осадковъ, можетъ сильно уклониться отъ указанной кривой. Замѣтимъ далѣе, что при уменьшеніи количества осадковъ безсточность бассейна наступаетъ не сразу: переходною ступеню къ полному прекращенію стока является временный стокъ. Очевидно, что наступленіе какъ временнаго стока, такъ и полной безсточности зависитъ не только отъ годовой величины осадковъ даннаго бассейна, но въ высокой степени и отъ распредѣленія осадковъ по временамъ года. Въ лѣтнее полугодіе нижній предѣлъ осадковъ для существованія регулярнаго стока гораздо выше, чѣмъ въ зимнее полугодіе. Весьма вѣроятно, что, если распредѣлить осадки равномерно по цѣлому году, то при указанномъ Пенкомъ годовомъ количествѣ осадковъ, мы имѣли бы еще стокъ въ зимнемъ полугодіи; прекращеніе же стока въ лѣтнемъ полугодіи, при равномерномъ распредѣленіи осадковъ, наступило бы уже при годовомъ количествѣ осадковъ, значительно превышающемъ указанный Пенкомъ предѣлъ.

Пенкъ и другіе изслѣдователи нашли, что съ увеличеніемъ количества осадковъ возрастаетъ не только стокъ, но и отношеніе величины стока къ осадкамъ, или такъ называемый коэффициентъ стока. Очевидно, что этотъ законъ представляетъ собою слѣдствіе вышеприведенныхъ соображеній о формѣ зависимости между осадками, стокомъ и испареніемъ. Дѣйствительно, мы имѣемъ, что $x = y + z$; (x = осадки, y = стокъ; z = испареніе). Изъ этого слѣдуетъ для коэффициента стока слѣдующее уравненіе: $y/x = 1 - z/x$. При очень маломъ x мы имѣемъ $z = x$, $y = 0$ и $y/x = 0$, т. е. коэффициентъ стока равенъ нулю. Съ увеличеніемъ x возрастаніе z , какъ мы видѣли, все болѣе замедляется; z/x все уменьшается, а y/x увеличивается. Начиная съ нѣкотораго x величина z остается постоянной, и для $x = \infty$ мы получаемъ $y/x = 1$, т. е. коэффициентъ стока равенъ 1 или 100 0/0. Такимъ образомъ коэффициентъ стока съ возрастаніемъ x увеличивается

отъ нуля до единицы. (Конечно, въ дѣйствительности послѣдній предѣлъ никогда не достигается). Что касается нашихъ уравненій, то увеличеніе коэффиціента стока съ осадками явствуетъ изъ того, что въ уравненіяхъ: $y = ax + b$ членъ b является отрицательнымъ, поэтому y/x равное $a + b/x$ съ увеличеніемъ x увеличивается. Исключеніе представляютъ лишь бассейны р. Оки и Днѣпра, для которыхъ b положительно. Для нихъ, слѣдовательно, получается слабое возрастаніе коэффиціента стока съ осадками. Такъ какъ это не можетъ соотвѣтствовать дѣйствительности, то оно указываетъ на то, что наши уравненія имѣютъ лишь приблизительное значеніе. Изъ этого также слѣдуетъ, что указанная уравненія нельзя обобщать за предѣлы наблюденныхъ осадковъ, ибо съ дальнѣйшимъ возрастаніемъ x непременно должно получиться увеличеніе коэффиціента стока. Въ частности, положительный знакъ коэффиціента b въ указанныхъ двухъ уравненіяхъ можетъ объясняться: 1) вліяніемъ прибыли или убыли запаса влаги. Мы видѣли, что эта причина уменьшаетъ уголъ наклона прямой стока, т. е. увеличиваетъ b (и уменьшаетъ a). 2) недочетомъ дождемѣровъ, уменьшающимъ величину x , соотвѣтствующую величинѣ y . Очевидно, что и вслѣдствіе этого коэффиціентъ b долженъ увеличиться.

Глава II (продолженіе).

В. Вліяніе остальныхъ климатическихъ факторовъ на испареніе и стокъ,

Обращаясь къ разсмотрѣнію вопроса о вліяніи остальныхъ климатическихъ факторовъ на величину испаренія даннаго бассейна, замѣтимъ, что мы можемъ лишь въ общихъ чертахъ говорить о значеніи совокупности остальныхъ климатическихъ факторовъ и сравнивать его съ вліяніемъ осадковъ; дать же болѣе или менѣе точные законы вліянія отдѣльныхъ факторовъ мы не въ состояніи. Такое положеніе дѣла становится однако вполне понятнымъ, если вспомнить съ какими трудностями сопряжено опредѣленіе законовъ вліянія отдѣльныхъ факторовъ даже въ простѣйшемъ вопросѣ испаренія, а именно испаренія водной поверхности.

Мы видѣли, какъ шатки всѣ сдѣланныя до сихъ поръ попытки вывести эти законы, а между тѣмъ въ этомъ вопросѣ возможны опыты и точное измѣреніе всѣхъ интересующихъ величинъ. Въ вопросѣ же объ испареніи съ поверхности рѣчныхъ бассейновъ ощущается, какъ мы видѣли, именно большой недостатокъ въ точныхъ данныхъ. Такимъ образомъ неудовлетворительное состояніе вопроса о вліяніи климатическихъ факторовъ на испареніе объясняется, съ одной стороны, сложностью процесса испаренія, которое зависитъ отъ вліянія многочисленныхъ факторовъ, съ другой стороны, отсутствіемъ точныхъ данныхъ не только осадковъ и стока, но и вліяющихъ на стокъ климатическихъ факторовъ.

Что касается вопроса о соотношеніи между вліяніемъ осадковъ и вліяніемъ остальныхъ климатическихъ факторовъ на годовое количество испаренія даннаго бассейна, то мы можемъ его легко рѣшить на основаніи сказаннаго въ первой части этой главы о характерѣ зависимости осадковъ и испаренія. Очевидно, что въ бассейнахъ II-го типа, въ которыхъ испареніе независимо отъ осадковъ (прямая испаренія || оси абсциссъ) величина испаренія опредѣляется исключительно климатическими факторами; между тѣмъ какъ въ бассейнахъ I-го типа, въ которыхъ величина испаренія почти равна количеству осадковъ, испареніе зависитъ главнымъ образомъ отъ количества осадковъ. Для бассейновъ промежуточныхъ будетъ преобладать то вліяніе осадковъ, то вліяніе остальныхъ климатическихъ факторовъ, смотря по тому, приближаются ли они къ I-му или II-му типу бассейновъ.

Хорошимъ примѣромъ, иллюстрирующимъ вліяніе наклона прямой испаренія на зависимость испаренія отъ остальныхъ климатическихъ факторовъ, являются опять составныя части бассейна р. Тиссы. Какъ мы выше видѣли, для бассейна верхней Тиссы до Тиссы-Уйлака испареніе почти независимо отъ осадковъ, между тѣмъ какъ, чѣмъ больше внизъ по рѣкѣ, тѣмъ больше выступаетъ вліяніе осадковъ. На основаніи вышесказаннаго, если вообще существуетъ параллелизмъ между ходомъ годовой температуры и величиной испаренія, мы въ правѣ ожидать, что онъ будетъ яснѣе выступать для бассейна верхней Тиссы, чѣмъ для остальныхъ частей бассейна. Дѣйствительно, какъ показалъ Вуевичъ

(Die Theiss. p. 68—69), для бассейна верхней Тиссы наблюдается известный параллелизм между ходом годовых величин температуры и испарения, причем конечно повышению температуры соответствует повышение испарения. Для бассейнов же Тиссы до Ташкони и Сегедина упомянутый параллелизм совершенно исчезает.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что для того, чтобы опредѣлить вліяніе климатическихъ факторовъ, рациональнѣе всего обратиться къ бассейнамъ II-го типа, въ которыхъ вліяніе осадковъ слабо замѣтно.

Какъ примѣръ бассейна, приближающагося къ первому типу, возьмемъ бассейнъ р. Залы. Легко показать, что въ этомъ бассейнѣ значительно преобладаетъ вліяніе осадковъ. Измѣнчивость величины испарения, обусловленная совокупнымъ вліяніемъ всѣхъ факторовъ равна ± 40 мм или 9% средней величины испарения. (Измѣнчивостью нѣкоторой величины называется сумма абсолютныхъ величинъ отклоненій отдѣльныхъ значеній этой величины отъ ея арифметическаго средняго, дѣленная на число ихъ.) Чтобы элиминировать вліяніе осадковъ воспользуемся выше выведеннымъ уравненіемъ $z = 0,70 x + 20$, дающимъ величину испарения въ зависимости отъ осадковъ. Разница между вычисленной и дѣйствительной величиной испарения, по крайней мѣрѣ отчасти, обусловливается вліяніемъ остальныхъ факторовъ. Опредѣляя отклоненія вычисленной величины отъ дѣйствительной, мы получаемъ измѣнчивость, равную 18 мм или 4%. Для бассейна р. Эльбы мы имѣемъ, до исключенія вліянія осадковъ, измѣнчивость равную 52 мм или 10,5%; послѣ элиминирования вліянія осадковъ — 16 мм или 3%. Сравнивая измѣнчивости до и послѣ элиминирования вліянія осадковъ, мы видимъ, что въ этихъ бассейнахъ дѣйствительно, вліяніе осадковъ значительно превосходитъ вліяніе остальныхъ климатическихъ факторовъ.

Относительно примѣннаго способа замѣтимъ, что онъ былъ бы строгимъ при безконечно большомъ числѣ данныхъ. При конечномъ же числѣ данныхъ (въ нашемъ примѣрѣ всего 20) онъ даетъ въ результатѣ слишкомъ малую величину для измѣнчивости подъ вліяніемъ остальныхъ факторовъ. Съ другой стороны однако, въ конечную величину измѣнчивости входятъ еще ошибки измѣреній и вліяніе прибыли и убыли, такъ что измѣнчивость подъ вліяніемъ однихъ

лишь рассматриваемых факторовъ будетъ значительно меньше найденной величины. Такимъ образомъ эти причины отчасти компенсируются и наше заключеніе о преобладаніи въ данномъ случаѣ вліянія осадковъ, остается въ силѣ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что въ бассейнахъ II-го типа, которые можно также характеризовать преобладаніемъ стока надъ испареніемъ, величина испаренія зависитъ главнымъ образомъ отъ остальныхъ метеорологическихъ факторовъ, между тѣмъ какъ въ бассейнахъ I-го типа, отличающихся значительнымъ преобладаніемъ испаренія надъ стокомъ, колебанія величины испаренія изъ года въ годъ опредѣляются преимущественно осадками. Интересно отмѣтить, что если рассматривать отдѣльно зимнее и лѣтнее полугодія, то одинъ и тотъ же бассейнъ можетъ въ первое и второе полугодіе относиться къ разнымъ типамъ. Какъ видно, напр., изъ уравненій для испаренія въ зимнее и лѣтнее полугодія бассейна р. Залы, въ первое полугодіе оно близко къ I-му, во второе къ II-му типу. Значитъ колебанія лѣтней величины испаренія будутъ главнымъ образомъ зависѣть отъ осадковъ, зимней отъ — остальныхъ факторовъ.

Что касается вліянія отдѣльныхъ факторовъ на годовую величину испаренія, то для температуры сдѣлано нѣсколько попытокъ найти соотношеніе между ходомъ годовыхъ величинъ температуры и испаренія. Выше мы уже упомянули о соотвѣтствіи хода, температуры и испаренія, найденномъ Вуевичомъ для бассейна верхней Тиссы.

Пенкъ опредѣлялъ также вліяніе годовой температуры на испареніе бассейновъ богемской Эльбы и Молдавы, и пришелъ къ заключенію, что повышеніе годовой температуры на 1° соотвѣтствуетъ увеличенію испаренія на 19 мм. Нужно, однако, замѣтить, что въ названныхъ бассейнахъ вліяніе температуры, хотя и существуетъ, но оно весьма неясно выражено. Это видно также изъ того, напр., что, при вычисленіи испаренія и стока на основаніи данныхъ величинъ осадковъ и отклоненія температуры отъ нормальной, средняя ошибка равна для бассейна Эльбы 20 мм или 4%, для Молдавы — 30 мм или 6% (см. Ренск. р. 476); при вычисленіи же на основаніи одной лишь величины осадковъ при помощи формулъ: $y = 0,5x - 157,5$ и $y = 0,6x - 228$; получаютъ среднія ошибки соотвѣтственно равныя 19 и 26 мм, т. е. меньшія, чѣмъ въ первомъ случаѣ (см. р. 493).

Rafter, рассматривая цѣлый рядъ бассейновъ сѣв.-вост. части соединенныхъ Штатовъ, приходитъ къ заключенію, что между годовой величиной испаренія и годовой температурой не существуетъ зависимости. Если это положеніе и не строго правильно, то всетаки отсутствіе ясно выраженной зависимости между указанными величинами становится вполне понятнымъ, если принять во вниманіе, что температура не является единственнымъ факторомъ, вліяющимъ на испареніе, а потому ея вліяніе, даже если элиминировать вліяніе осадковъ, маскируется дѣйствіемъ остальныхъ факторовъ, къ которымъ нужно причислить и прибыль и убыль запаса влаги и, last not least, ошибки измѣреній.

Впрочемъ, даже при отсутствіи маскирующаго дѣйствія остальныхъ факторовъ нельзя ожидать полного соответствія между ходомъ годовыхъ величинъ температуры и испаренія. Испареніе, главнымъ образомъ, зависитъ не отъ температуры воздуха, а отъ его гигрометрическаго состоянія, а именно отъ недостатка насыщенія. Послѣдній же не всегда мѣняется параллельно ходу годовой температуры. Кромѣ того, при опредѣленіи годовой температуры, зимнія и лѣтнія температуры равноправны, а между тѣмъ для опредѣленія годовой величины испаренія температура лѣта гораздо важнѣе температуры зимы, ибо на зиму падаетъ лишь небольшая часть испаренія. Поэтому въ бассейнѣ, въ которомъ колебанія годовой температуры обусловливаются главнымъ образомъ колебаніями зимней температуры, какъ это, согласно Оппокову, имѣетъ мѣсто для бассейна Днѣпра, естественно, нельзя ожидать ясно выраженной параллельности хода годовыхъ величинъ испаренія и температуры.

Болѣе важнымъ факторомъ, чѣмъ температуру нужно считать, какъ мы сказали, недостатокъ насыщенія. Чтобы найти его вліяніе на годовую величину испаренія въ бассейнахъ р. Залы и Дальэльфа, мы вычислили годовыя величины недостатка насыщенія для г. Галле въ бассейнѣ р. Залы для періода 1882—1901, и для Фалуна (1894—1901) въ бассейнѣ р. Дальэльфа, на основаніи среднихъ годовыхъ величинъ абсолютной и относительной. (Способъ этотъ однако не даетъ точныхъ значеній для годовой величины недостатка на насыщенія; см. объ этомъ въ гл. VIII).

Въ первомъ бассейнѣ сравнивались величина недостатка насыщенія даннаго года и отклоненіе величины испаренія

этого года отъ прямой испаренія, т. е. элиминировалось вліяніе осадковъ. Во второмъ случаѣ, пользуясь тѣмъ что въ этомъ бассейнѣ величина испаренія не зависитъ отъ величины осадковъ, сравнивались непосредственно величина испаренія и недостатка насыщенія. Ни въ томъ, ни въ другомъ случаѣ не получалось ясно выраженной зависимости между рассматриваемыми величинами, хотя и замѣчался извѣстный, правда очень слабый, параллелизмъ между ходомъ обѣихъ рассматриваемыхъ величинъ.

Конечно, это можетъ объясняться отчасти неточностью способа вычисленія недостатка насыщенія, а также тѣмъ, что недостатокъ насыщенія одной станціи можетъ уклоняться отъ годовой величины недостатка насыщенія цѣлаго бассейна; но главная причина въ данномъ случаѣ та же, которую мы указали при рассматриваніи температуры. Такимъ образомъ мы видимъ, что вліяніе отдѣльныхъ факторовъ на колебанія годовой величины испаренія данного бассейна маскируется вліяніемъ другихъ факторовъ, между которыми весьма важную роль играютъ прибыль или убыль запаса влаги и ошибки измѣреній. Мы покажемъ однако ниже въ главѣ VIII способъ вычисленія многолѣтней средней величины испаренія, на которую, какъ извѣстно, прибыль или убыль запаса влаги болѣе не вліяютъ, и вліяніе ошибокъ сильно уменьшено.

Скажемъ еще нѣсколько словъ о значеніи остальныхъ факторовъ. Что касается вѣтра, то, какъ извѣстно, онъ ускоряетъ процессъ испаренія благодаря тому, что онъ удаляетъ пары отъ испаряющей поверхности, которые безъ его содѣйствія лишь очень медленно дифундировали бы въ воздухъ, сильно замедля дальнѣйшее испареніе. Нужно однако думать, что вліяніе вѣтра въ природѣ будетъ сказываться нѣсколько менѣе рѣзко, чѣмъ въ лабораторныхъ опытахъ или при небольшихъ эвапорометрахъ, свободно выставленныхъ дѣйствию вѣтра на нѣкоторой высотѣ надъ уровнемъ земли. Дѣйствительно, во первыхъ, въ природѣ почти никогда не наблюдается полного отсутствія воздушныхъ теченій, т. е. слѣдовательно, случай чисто диффузнаго распространенія паровъ въ воздухъ, при лабораторной обстановкѣ особенно ярко показывающій значеніе вѣтра, въ природѣ отсутствуетъ. Кромѣ того, въ природѣ, если мы имѣемъ въ виду большія испаряющія поверхности, напр. водныя или покрытыя болѣе или менѣе ровнымъ растительнымъ покровомъ, строго гори-

зонтальныя слагающія воздушныхъ теченій перестаютъ играть роль въ процесѣ испаренія, ибо онѣ не удаляютъ паровъ воды отъ испаряющей поверхности, а лишь переносятъ ихъ съ одного мѣста къ другому; главную роль въ такомъ случаѣ играетъ перемѣшиваніе слоевъ воздуха въ вертикальномъ направленіи. Для эвалорометровъ же, находящихся надъ поверхностью земли, очевидно и горизонтальныя теченія воздуха сильно вліяютъ на величину испаренія.

Большое значеніе инсоляціи вытекаетъ изъ вліянія его на транспирацію растительнаго покрова, о которомъ мы будемъ говорить въ главѣ о растительномъ покровѣ. Кромѣ того, отъ инсоляціи зависитъ температура поверхности земли, также безъ сомнѣнія сильно вліяющая на величину испаренія. Какъ значительно, въ болѣе южныхъ широтахъ, вліяніе инсоляціи на температуру поверхности земли, видно изъ слѣдующаго примѣра. Въ Тифлисѣ, въ среднемъ за 7 лѣтъ, разница между температурою почвы и воздуха въ часъ дня въ іюлѣ мѣсяцѣ равна $20^{\circ},05$ ($48^{\circ},14$ противъ $28^{\circ},09$, см. Клоссовскій, Метеорологія. р. 318).

Далѣе мы указывали, что на годовую величину стока и испаренія вліяютъ факторы, отъ которыхъ зависитъ характеръ весенняго половодья, какъ-то болѣе или менѣе быстрое таяніе снѣга, состояніе почвы во время таянія (мерзлость или талость ея), опредѣляющее быстроту стока талыхъ водъ и пр. Особенно важную роль играетъ весенній стокъ въ режимѣ русскихъ рѣкъ. Такъ для бассейна Оки онъ составляетъ 75%, и колебанія годовой величины стока главнымъ образомъ обусловливаются колебаніями расхода во время весенняго половодья. Изъ этого слѣдуетъ, что колебанія весенняго стока должны также сказываться и на годовой величинѣ испаренія, что объясняется тѣмъ, что отъ величины весенняго стока зависитъ количество влаги, остающейся въ почвѣ отъ зимняго запаса снѣга. Въ существованіи такой зависимости годовой величины испаренія отъ величины весенняго стока можно легко убѣдиться, разсматривая графикъ для бассейна Оки. Всѣ точки испаренія тѣхъ годовъ, для которыхъ величина весенняго половодья была выше нормы (43,319 милл. куб. саж.) располагаются ниже прямой испаренія, доказывая пониженіе испаренія; для годовъ съ половодьемъ ниже нормы, точки испаренія располагаются выше прямой, доказывая повышеніе испаренія (см. Гейнцъ: „Водоносность бас. Оки“).

Наконецъ, извѣстное вліяніе на величину стока, а слѣдовательно и испаренія, оказываетъ характеръ выпаденія осадковъ. Какъ показали наблюденія, осадки, выпадающіе при ливняхъ, вызывающихъ паводки, благодаря болѣе быстрому стоку, испаряются въ значительно меньшей степени, чѣмъ осадки при дождяхъ обыкновенной силы. Согласно Гейнцу, напр., въ бассейнѣ Оки отъ ливневыхъ водъ стекаетъ приблизительно 12% во время половодій, между тѣмъ какъ общій коэффициентъ стока въ этомъ бассейнѣ для лѣтнихъ (VI—VIII) мѣсяцевъ равенъ лишь 4%. Еще значительно болѣе коэффициентъ стока ливневыхъ водъ находитъ Dr. Fischer (см. Die Sommerhochwasser der Oder von 1813—1903. Jahrbuch für d. Gewässerkunde Nord-Deutschlands. Bes. Mitt. Bd. I. № 6) при разсматриваніи лѣтнихъ паводковъ исключительной силы. Для различныхъ паводковъ онъ находитъ коэффициенты стока, колеблющіеся между 45 и 75%.

Глава III.

Измѣнчивость величинъ осадковъ, испаренія и стока.

Для характеристики измѣнчивости годовыхъ величинъ осадковъ, испаренія и стока въ рѣчныхъ бассейнахъ приводимъ слѣдующую таблицу, дающую ихъ площадь, продолжительность наблюдений, среднія величины осадковъ испаренія и стока, а также измѣнчивость и амплитуду колебаній послѣднихъ величинъ для нѣкоторыхъ рѣчныхъ бассейновъ.

Ока	измѣнчивость	осадк.: 89 mm = 16,2 %
4870 km ² .	„	испар.: 79 „ = 18,0 %
13 лѣтъ.	„	стока: 34 „ = 29,6 %
$x_0 = 555$ mm.	амплитуда	осадк.: 387 „ = 71,7 %
$z_0 = 441$ „	„	испар.: 374 „ = 84,8 %
$y_0 = 114$ „	„	стока: 114 „ = 100,0 %
Эльба	измѣнчивость	осадк.: 73 mm = 10,5 %
51.000 km ² .	„	испар.: 52 „ = 10,5 %
15 лѣтъ.	„	стока: 32 „ = 16,5 %
$x_0 = 692$ mm.	амплитуда	осадк.: 311 „ = 45,1 %
$z_0 = 500$ „	„	испар.: 186 „ = 37,2 %
$y_0 = 192$ „	„	стока: 143 „ = 74,5 %

Дальэльфъ 26.400 km ² . 11 лѣтъ. $x_0 = 612$ мм. $z_0 = 163$ „ $y_0 = 449$ „	измѣнчивость „ „ амплитуда „ „	осадк.: 86 мм = 14,1 % испар.: 17 „ = 10,4 % стока: 68 „ = 15,3 % осадк.: 325 „ = 53,1 % испар.: 88 „ = 54,1 % стока: 314 „ = 70,0 %
Днѣпръ 335.575 km ² . 26 лѣтъ. $x_0 = 547$ мм. $z_0 = 422$ „ $y_0 = 125$ „	измѣнчивость „ „ амплитуда „ „	осадк.: 55 мм = 10,1 % испар.: 58 „ = 13,7 % стока: 25 „ = 20,0 % осадк.: 224 „ = 41,0 % испар.: 223 „ = 52,8 % стока: 118 „ = 94,4 %
Зала 18.850 km ² . 20 лѣтъ. $x_0 = 613$ мм. $z_0 = 445$ „ $y_0 = 168$ „	измѣнчивость „ „ амплитуда „ „	осадк.: 50 мм = 8,2 % испар.: 40 „ = 9,0 % стока: 24 „ = 14,3 % осадк.: 245 „ = 40,0 % испар.: 193 „ = 43,4 % стока: 144 „ = 85,7 %
Кротонъ 877 km ² . 23 года. $x_0 = 1253$ мм. $z_0 = 674$ „ $y_0 = 579$ „	измѣнчивость „ „ амплитуда „ „	осадк.: 113 мм = 9,0 % испар.: 55 „ = 8,2 % стока: 105 „ = 18,2 % осадк.: 548 „ = 43,7 % испар.: 273 „ = 40,5 % стока: 480 „ = 82,9 %
Susquehanna 62.211 km ² . 13 лѣтъ. $x_0 = 997$ мм. $z_0 = 463$ „ $y_0 = 534$ „	измѣнчивость „ „ амплитуда „ „	осадк.: 84 мм = 8,5 % испар.: 21 „ = 4,8 % стока: 76 „ = 14,4 % осадк.: 328 „ = 32,9 % испар.: 118 „ = 25,5 % стока: 261 „ = 48,7 %

Прежде чѣмъ приступить къ разбору этой таблицы замѣтимъ слѣдующее: приведенныя въ этой таблицѣ величины измѣнчивости осадковъ, испаренія и стока больше дѣйствительной измѣнчивости этихъ величинъ. Это слѣдуетъ изъ сравнительно небольшой точности измѣренія этихъ величинъ.

Очевидно, что неправильныя колебанія ошибокъ при измѣреніи увеличиваютъ измѣнчивость разсматриваемыхъ величинъ. Особенно это относится къ величинѣ испаренія, ибо, какъ мы видѣли въ главѣ I, вліяніе ошибокъ измѣреній должно сказываться значительно сильнѣе на величинѣ испаренія, чѣмъ на осадкахъ и стокахъ. Кромѣ того въ измѣнчивость испаренія въ таблицѣ входятъ еще неправильныя колебанія величины прибыли и убыли запаса влаги въ бассейнѣ. Такимъ образомъ величины приведенныя въ таблицѣ, представляютъ лишь верхніе предѣлы измѣнчивости осадковъ, стока и испаренія, причемъ разница между дѣйствительною и вычисленною измѣнчивостью больше всего для испаренія.

Мы можемъ считать за общеизвѣстный фактъ, что измѣнчивость какой-либо метеорологической величины, наблюдаемой въ данной точкѣ будетъ больше измѣнчивости средняго значенія этой величины для цѣлой страны. Для величины осадковъ это доказано многими авторами. Между прочимъ это подтверждается таблицей въ работѣ проф. Уле (Niederschlag und Abfluss in Mitteleuropa. p. 453), дающей годовыя количества осадковъ съ 1882 г. до 1901 г. для бассейна р. Залы и для станцій Галле и Эрфуртъ, лежащихъ въ этомъ бассейнѣ. На основаніи этой таблицы получается средняя измѣнчивость для цѣлаго бассейна равной 7,9‰; для обѣихъ станцій 9,3‰ resp. 9,2‰. Какъ примѣръ уменьшенія измѣнчивости осадковъ съ увеличеніемъ разсматриваемой поверхности, можно привести слѣдующее: согласно даннымъ Пенка, амплитуда колебанія осадковъ въ 15-ти лѣтній періодъ 1876—1890 для всего бассейна богемской Эльбы равна 45‰ средней величины; въ то время какъ для составныхъ частей его за тотъ же періодъ получаютъ слѣдующія амплитуды: для бассейна р. Молдавы: 51‰; для бассейна Малой Эльбы: 54‰ и для бассейна р. Эгеръ: 58‰.

Что касается измѣнчивости величины испаренія, то хорошимъ примѣромъ, показывающимъ уменьшеніе измѣнчивости испаренія съ увеличеніемъ поверхности бассейна, являются бассейны верховьевъ Оки и Днѣпра. Какъ видно изъ таблицы бассейны эти, находящіеся въ весьма сходныхъ климатическихъ условіяхъ, обладаютъ приблизительно равными средними величинами испаренія. Громадная разница заключается лишь въ величинѣ ихъ поверхности. Поверхность бассейна Днѣпра почти въ 70 разъ больше бассейна Оки.

Соответственно этому мы действительно наблюдаемъ замѣтное уменьшеніе измѣнчивости испаренія въ бассейнѣ Днѣпра. (58 mm = 13,7% противъ 79 mm = 18,0%). Даже амплитуда колебанія испаренія въ бассейнѣ Оки, несмотря на вдвое меньшій періодъ наблюденій, значительно больше, чѣмъ въ бассейнѣ р. Днѣпра.

Интересно сравнить между собою измѣнчивости испаренія и осадковъ. Очевидно, что при разсматриваніи этого вопроса опять важно различать бассейны I-го и II-го типа. Такъ какъ въ бассейнахъ II-го типа колебанія величины испаренія совершаются почти только подъ вліяніемъ остальныхъ (кромѣ осадковъ) климатическихъ факторовъ, колебанія же въ бассейнахъ I-го типа зависятъ еще и отъ колебаній весьма измѣнчивой величины осадковъ, то естественно ожидать, что измѣнчивость испаренія больше у бассейновъ I-го типа, чѣмъ у бассейновъ II-го типа. Это вполне подтверждается нашей таблицей: наибольшую измѣнчивость, какъ по абсолютной, такъ и по относительной величинѣ, мы находимъ у бассейновъ Оки и Днѣпра, могущихъ считаться представителями I типа бассейновъ. Наименьшую измѣнчивость мы находимъ у бассейновъ II-го типа: Дальэльфа, Кротона и Сускеганны. Бассейны промежуточные (Эльба и Зала) показываютъ также промежуточную величину измѣнчивости.

Что касается соотношенія между измѣнчивостью осадковъ и испаренія, то въ бассейнахъ II-го типа, а также отчасти и въ бассейнахъ промежуточныхъ измѣнчивость испаренія меньше измѣнчивости осадковъ, не только по абсолютной, но и по относительной величинѣ. Въ бассейнахъ же I-го типа измѣнчивость испаренія не уступаетъ измѣнчивости осадковъ, въ бассейнѣ Днѣпра первая даже по абсолютной величинѣ больше. Объясняется это, какъ мы видѣли зависимостью испаренія отъ осадковъ въ бассейнахъ I-го типа (въ бассейнѣ Днѣпра играетъ роль, можетъ быть, и вліяніе прибыли или убыли).

Такимъ образомъ мы приходимъ къ заключенію, что испареніе рѣчныхъ бассейновъ является величиною менѣе измѣнчивою, чѣмъ осадки; исключеніе представляютъ лишь тѣ области, гдѣ, вслѣдствіе недостатка влаги, величина испаренія слѣдуетъ за колебаніями величины осадковъ.

Найденная нами незначительная измѣнчивость испаренія рѣчныхъ бассейновъ, вполне согласуется съ характеромъ ве-

личины испаренія, опредѣляемаго опытнымъ путемъ. И тутъ мы замѣчаемъ малую измѣнчивость величины испаренія, по сравненію съ осадками. Такъ, напр., по наблюденіямъ съ испарителемъ Рыкачева (содержавшимъ кусокъ дерна), съ 1897 г. до 1906 г., отношенія maximum'a къ minimum'у за данный періодъ для испаренія и для осадковъ равны: въ іюль: для испаренія 2,9, для осадковъ: 8,8; въ августѣ соотвѣтствующія числа равны: 2,9 и 5,2; въ сентябрѣ: 2,1 и 6,0 (см. Власовъ. „Почвовѣдѣніе“ 1910, № 2). Къ такому же выводу относительно измѣнчивости испаренія приводятъ и опыты Gilbert'a и Lawes'a въ Rothamstead'ѣ (см. Людеке. „Почвовѣдѣніе“ 1907, р. 34).

Какъ извѣстно, измѣнчивость количества осадковъ данной дождемѣрной станціи различна въ различныхъ странахъ. Напр., согласно Hann'у (Lehrbuch d. Meteorologie) измѣнчивость осадковъ въ средней Европѣ въ среднемъ равна 15%, въ Европейской же Россіи 15—19%. На различную измѣняемость въ различныхъ климатахъ не только осадковъ, но и величины испаренія, указываетъ и наша таблица. (Замѣтимъ, что она при своемъ незначительномъ объемѣ, можетъ дать лишь нѣкоторое указаніе, но не строгое доказательство). Повидимому, наибольшую измѣнчивостью, какъ осадковъ, такъ и испаренія, обладаютъ бассейны Европейской Россіи, затѣмъ идутъ бассейны средней Европы, и наконецъ американскіе бассейны, относящіеся къ Сѣв.-вост. части Соединенныхъ Штатовъ. Разница между русскими и американскими бассейнами бросается въ глаза, если сравнивать бассейны р. Оки и р. Кротона. Какъ видно изъ таблицы, измѣнчивость всѣхъ величинъ въ бассейнѣ Оки сравнительно больше, чѣмъ въ бассейнѣ р. Кротона, хотя послѣдній въ нѣсколько разъ меньше перваго. Измѣнчивость и амплитуда испаренія даже по абсолютной величинѣ больше въ бассейнѣ Оки, несмотря на значительно бѣльшую среднюю величину испаренія въ бассейнѣ р. Кротона и болѣе продолжительный періодъ наблюденій. Подобную разницу наблюдаемъ и между бассейнами р. Susquehanna и Днѣпра. И въ этомъ случаѣ меньшая измѣнчивость на сторонѣ американской рѣки. Бассейны Залы и богемской Эльбы, что касается измѣнчивости какъ осадковъ, такъ и испаренія, какъ мы уже упомянули, занимаютъ среднее мѣсто.

Большая измѣнчивость испаренія русскихъ рѣкъ, по крайней мѣрѣ отчасти, объясняется, какъ мы выше видѣли, большимъ вліяніемъ колебаній осадковъ на величину испаренія въ этихъ бассейнахъ. Что же касается бѣльшей измѣнчивости осадковъ въ русскихъ бассейнахъ, то она, можетъ быть, находится въ связи съ континентальнымъ происхожденіемъ бѣльшей части осадковъ въ этихъ бассейнахъ (о происхожденіи осадковъ см. послѣднюю главу). Во всякомъ случаѣ бѣльшая измѣнчивость осадковъ въ русскихъ бассейнахъ по сравненію съ американскими согласуется съ правиломъ, установленнымъ Hellmann'омъ, согласно которому измѣнчивость осадковъ бѣльше въ странахъ, обладающихъ ясно выраженнымъ дождливымъ періодомъ въ году (для русскихъ рѣкъ дождливымъ временемъ года является лѣто), чѣмъ въ странахъ съ равномерными осадками въ теченіе всего года (американскіе бассейны).

Если сравнивать измѣнчивость стока съ измѣнчивостью двухъ остальныхъ величинъ, то, какъ видно изъ таблицы, во всѣхъ бассейнахъ относительная величина измѣнчивости и амплитуды стока бѣльше не только соответствующихъ величинъ для испаренія, но и для осадковъ, т. е. стокъ является наибѣльше измѣнчивою изъ всѣхъ 3-хъ разматриваемыхъ величинъ. Нѣкоторые авторы (Пенкъ, Вуевичъ), въ виду такой измѣнчивости величины стока, разматриваютъ ее какъ величину менѣе самостоятельную, чѣмъ величина испаренія, представляющую собою какъ-бы только разницу между осадками и испареніемъ. Замѣтимъ, что такой взглядъ вполне естественъ въ томъ случаѣ, если осадки столь значительны, что испареніе независимо отъ осадковъ; тогда осадки и испареніе представляютъ собою двѣ независимыя переменныя и стокъ въ этомъ случаѣ дѣйствительно представляетъ собою ни что иное, какъ остатокъ осадковъ, оставшихся неиспаренными. Въ тѣхъ случаяхъ, однако, когда и испареніе зависитъ отъ осадковъ, можно съ одинаковымъ правомъ разматривать стокъ какъ разность между осадками и испареніемъ, или испареніе какъ разность между осадками и стокомъ.

Что касается, наконецъ, зависимости стока отъ величины бассейна, то, какъ и слѣдовало ожидать, она уменьшается съ возрастаніемъ площади бассейна. Такъ она замѣтно меньше для р. Днѣпра, чѣмъ для Оки; также меньше для

р. Susquehanna, чѣмъ для р. Croton. (Мы имѣемъ тутъ въ виду, конечно, величину стока, измѣряемую толщиной слоя воды, распространеннаго по всей площади бассейна. Если же измѣрять величину стока, напр., въ куб. метрахъ, то конечно, въ общемъ, абсолютная величина измѣнчивости будетъ возрастать съ площадью бассейна). Наконецъ, замѣтимъ, что измѣнчивость стока зависитъ еще отъ ряда физико-геологическихъ факторовъ, вліянія которыхъ мы коснемся ниже.

Глава IV.

Вліяніе физико-геологическихъ факторовъ.

Подъ общимъ названіемъ физико-геологическихъ факторовъ мы соединяемъ слѣдующій комплексъ факторовъ: 1) физическія свойства почвы бассейна (водопроницаемость, влагоемкость etc.); 2) рельефъ бассейна (равнинность или гористость) и величина его поверхности; 3) состояніе поверхности бассейна: растительный покровъ, лѣса, болота, озера. Вліяніе растительнаго покрова мы рассмотримъ отдѣльно въ слѣдующей главѣ.

Въ томъ, что поименованные факторы должны оказывать извѣстное вліяніе на процессъ стока и испаренія съ поверхности бассейна, не можетъ конечно быть сомнѣнія. Но мы должны тутъ же замѣтить, что какихъ-либо количественныхъ соотношеній между величиною испаренія и данными факторами до сихъ поръ не установлено. Все, что можно сказать по этому вопросу, сводится къ извѣстнымъ представленіямъ качественного характера о значеніи того или иного фактора, причемъ относительно характера вліянія нѣкоторыхъ изъ нихъ мнѣнія различныхъ авторовъ сильно расходятся или даже прямо противоположны. Интересный вопросъ о соотношеніи между вліяніемъ климатическихъ и физико-геологическихъ факторовъ также нельзя еще назвать окончательно рѣшеннымъ. Къ этому вопросу мы вернемся въ слѣдующей главѣ.

Физическія свойства почвы, главнымъ образомъ ея водопроницаемость и влагоемкость, должны оказывать значительное вліяніе на процессъ испаренія съ ея поверхности. Какъ показы-

вають лизиметрическія наблюденія въ почвахъ водопроницаемыхъ и мало влагоемкихъ, какъ, напр., песокъ, всегда количество просочившейся воды больше, а слѣдовательно количество испарившейся воды меньше, чѣмъ въ почвахъ влагоемкихъ и слабо проницаемыхъ, какъ напр. глина, черноземъ, торфъ. Ограничиваюсь приведеніемъ слѣдующихъ двухъ примѣровъ: Вольни¹⁾ нашель на основаніи лизиметрическихъ опытовъ слѣдующія величины испаренія въ граммахъ на 400 см² различныхъ породъ почвы.

	Осадки.	Песокъ.	Суглинокъ.	Торфъ.	Перегнойн. извест. песокъ		Вода.
					голый.	съ травой.	
1882	24531	7893	15718	13216	13182	20182	23029
1883	25438	7552	16778	14366	14515	20640	22272
1884	20412	7198	14373	11186	12705	17921	25648

Людеке²⁾ на основаніи англійскихъ лизиметрическихъ опытовъ находитъ, что при осадкахъ въ 200 mm въ теченіе теплаго полугодія, сквозь суглинокъ просачивается въ среднемъ лишь $\frac{1}{2}$ ‰, сквозь песокъ же 75 ‰.

Объясняется это тѣмъ, что въ песчаныхъ почвахъ вода быстро просачивается до такой глубины, на которой она уже защищена отъ дальнѣйшаго испаренія, особенно, если принять во вниманіе, что высота капиллярнаго подъема влаги въ этихъ почвахъ очень незначительна. Въ почвахъ же влагоемкихъ и мало проницаемыхъ просачиваніе происходитъ лишь медленно, значительная часть влаги задерживается въ верхнихъ слояхъ почвы, гдѣ она легко испаряется, кромѣ того, благодаря высокой капиллярности этихъ почвъ, испарившаяся влага верхнихъ слоевъ постоянно возмѣщается влагою нижнихъ слоевъ, которая въ свою очередь испаряется. Понятно поэтому, что при одинаковыхъ климатическихъ условіяхъ подъ песчаной почвой питаніе грунтовыхъ водъ будетъ

1) См. Wollny. Forsch. Bd. VIII цитировано по Локотю: „Влажность почвы“ р. 178.

2) См. Почвовѣдніе 1907.

несравненно обильнѣе, чѣмъ подѣ почвою глинистою или черноземною, подѣ которою грунтовыя воды нерѣдко даже совершенно отсутствуютъ.

Поразительные примѣры богатства грунтовыхъ водъ подѣ песчанною почвою не рѣдко можно встрѣтить даже въ весьма засушливыхъ странахъ. Въ южно-русскихъ степяхъ, особенно въ Прикаспійской низменности разница въ богатствѣ грунтовыхъ водъ подѣ песчаными почвами и сосѣдними глинистыми почвами, согласно Висоцкому ¹⁾ весьма замѣчательна.

На основаніи этого Оппоковъ считаетъ роль этихъ почвъ весьма важною особенно въ бассейнахъ, въ которыхъ преобладаетъ грунтовое питаніе рѣки; благодаря богатству грунтовыхъ водъ, водопроницаемыя почвы являются главными питателями рѣчнаго стока.

Что касается вопроса о вліяніи рельефа бассейна на величину испаренія или стока, то нужно различать 2 стороны вопроса: 1) въ гористыхъ бассейнахъ стокъ воды съ поверхности бассейна совершается быстрѣе, чѣмъ въ равнинныхъ. Очевидно, что это обстоятельство способствуетъ уменьшенію величины испаренія съ поверхности гористыхъ бассейновъ по сравненію съ равнинными. 2) Равнинные бассейны отличаются обыкновенно большею проницаемостью почвы, чѣмъ гористые, а это обстоятельство вліяетъ на величину испаренія, какъ мы видѣли, въ обратномъ смыслѣ. Очевидно поэтому, что смотря по тому, преобладаетъ ли первая или вторая причина, испареніе съ гористаго бассейна можетъ быть то меньше, то больше испаренія съ бассейна равниннаго. Это обстоятельство конечно исключаетъ возможность рѣшить въ общемъ видѣ вопросъ, о томъ увеличено ли или уменьшено испареніе съ гористаго бассейна по сравненію съ равниннымъ, причемъ, конечно, предполагается, что количество осадковъ и другіе климатическіе факторы въ обоихъ бассейнахъ одинаковы. Этимъ объясняется также, что въ литературѣ можно встрѣтить совершенно противорѣчащія другъ другу отвѣты на этотъ вопросъ.

Newell ²⁾ полагаетъ, что стокъ съ гористыхъ странъ

1) О взаимныхъ соотношеніяхъ между лѣсною растительностью и влагою, преимущественно въ южно-русскихъ степяхъ. „Труды опытныхъ лѣсничествъ“ 1904. II.

2) См. Quarterly Journal 1898, p. 164—165.

значительно больше чѣмъ съ равнинныхъ. Въ Соединенныхъ Штатахъ, по его мнѣнію, для гористыхъ и равнинныхъ бассейновъ получаются слѣдующія цифры для стока въ зависимости отъ осадковъ: при осадкахъ равныхъ 40 дюймамъ (= 1006 мм) съ горъ стекаетъ 30 дюймовъ, съ равнинъ 15; при осадкахъ равныхъ 20 дюймамъ, числа стока соответственно равны 7 и 2 дюймамъ; при 10 дюймахъ осадковъ съ гористыхъ бассейновъ стекаетъ 2 дюйма, а съ равнинныхъ ничего. Поэтому при осадкахъ равныхъ 10—15 дюймамъ (250—325 мм) нѣтъ рѣкъ внѣ гористыхъ странъ, и при переходѣ изъ гористыхъ областей въ равнинныя, рѣки исчезаютъ. Какъ разъ противоположнаго взгляда на этотъ вопросъ придерживается Келлеръ¹⁾ въ своей работѣ объ осадкахъ, стока и испареніи въ Средней Европѣ. По его мнѣнію равнинныя бассейны Средней Европы обладаютъ значительно меньшимъ испареніемъ и слѣд. большимъ стокомъ, чѣмъ гористыя бассейны при равномъ количествѣ осадковъ. Для равнинныхъ бассейновъ величина испаренія колеблется между 350 и 450 мм для различныхъ бассейновъ. Для гористыхъ бассейновъ предѣлы колебанія равны 430 и 550 мм, а для альпійскихъ бассейновъ 350 и 600 мм. Уменьшеніе испаренія для равнинныхъ бассейновъ Средней Европы объясняется преобладаніемъ хорошо проницаемыхъ почвъ на ихъ поверхности; отчасти, впрочемъ, также уменьшеніемъ осадковъ въ равнинныхъ бассейнахъ.

Очевидно однако, что при большой влагоемкости и слабой водопроницаемости почвы стока съ равнинныхъ бассейновъ уменьшенъ. Примѣромъ могутъ служить степи южной Россіи, съ которыхъ какъ извѣстно не происходитъ почти никакого стока даже при довольно значительномъ годовомъ количествѣ осадковъ (до 500 мм). Только при очень большомъ избыткѣ влаги, какъ весною при таяніи снѣга или во время сильныхъ ливней, часть воды стекаетъ по оврагамъ. Въ общемъ же вслѣдствіе слабого расчлененія рельефа, поверхностный стокъ минималенъ. Подземный стокъ также почти отсутствуетъ, ибо, какъ мы видѣли, большая влагоемкость и малая водопроницаемость преобладающихъ породъ почвы въ степяхъ въ связи съ сильною испаряемостью климата исключаютъ сколько-нибудь значительное питаніе грунтовыхъ водъ.

1) Jahrbuch der Gewässerkunde Norddeutschlands, Bes. Mitt. N. I. 1906.

Въ общемъ можно полагать, что только при хорошей водопроницаемости почвы слабая расчлененность рельефа будетъ способствовать увеличенію стока. При малой водопроницаемости почвы стокъ съ равниннаго бассейна будетъ меньше, а испареніе больше, чѣмъ съ поверхности бассейна съ сильно расчлененнымъ рельефомъ, при равномъ количествѣ осадковъ.

Что касается вліянія величины поверхности бассейна на испареніе, то обыкновенно полагають, что съ большого бассейна испаряется сравнительно больше, чѣмъ съ малаго, при одномъ и томъ же количествѣ осадковъ, и что слѣдовательно коэффициентъ стока съ увеличеніемъ поверхности бассейна уменьшается.

Это предположеніе основано на томъ фактѣ, что въ большихъ бассейнахъ средняя длина пути, пробѣгаемаго частицей воды отъ мѣста выпаденія дождя до устья рѣки больше, чѣмъ въ малыхъ бассейнахъ; такъ какъ вслѣдствіе этого и время пребыванія воды въ среднемъ больше, то въ большемъ бассейнѣ успѣваетъ испариться болѣе значительный процентъ выпавшей влаги, чѣмъ въ маломъ. Легко, однако, показать, что разница въ величинѣ испаренія различныхъ бассейновъ, обусловленная различною величиною ихъ, при обыкновенныхъ условіяхъ должна быть незначительна. Дѣйствительно, любой большой бассейнъ можно раздѣлить на большое число малыхъ бассейновъ, испареніе съ поверхности которыхъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ ничѣмъ не отличается отъ испаренія любого другого малаго бассейна. Единственнымъ отличіемъ большого бассейна, обуславливающимъ увеличеніе испаренія, являются русла главной рѣки и ея болѣе значительныхъ притоковъ. Но испареніе съ поверхности самой рѣки въ общемъ незначительно по сравненію съ испареніемъ съ поверхности ея бассейна. Возьмемъ, напр. бассейнъ Днѣпра выше Кіева. Длина рѣки до этого пункта равна 1230 верстамъ (см. Максимовичъ: „Днѣпръ“). Принимая среднюю ширину рѣки равной одной верстѣ (что вѣроятно гораздо выше дѣйствительности), мы получаемъ водную поверхность равную 1230 □ в., принимая во вниманіе и притоки, мы получаемъ общую водную поверхность, равную, самое большее, нѣсколькимъ тысячамъ квадратныхъ верствъ. Очевидно, что испареніе водной поверхности такой величины можетъ составлять лишь незна-

чительную долю испаренія съ поверхности всего бассейна, обнимающаго свыше 300,000 □ в. Болѣе значительную роль будетъ играть испареніе съ поверхности рѣки лишь во время весенняго разлива, обыкновенно во много разъ увеличивающаго испаряющую поверхность рѣки. Но, такъ какъ разливы обнимаютъ всетаки лишь небольшую часть года и относятся къ времени года, когда испаряемость еще невелика, то въ общемъ можно полагать, что испареніе съ поверхности самой рѣки ничтожно по сравненію съ испареніемъ съ ея бассейна, а изъ этого, какъ мы видѣли, слѣдуетъ, что величина бассейна сама по себѣ не оказываетъ значительнаго вліянія ни на величину испаренія, ни на коэффициентъ стока.

Замѣтимъ, что вышесказанное относится главнымъ образомъ къ умѣренному, влажному климату. Въ другихъ климатахъ могутъ быть и отступленія. Такъ, напр., роль испаренія съ поверхности рѣки можетъ быть очень замѣтна при сухомъ и жаркомъ климатѣ, въ бассейнахъ съ хорошо проницаемою почвою. Очевидно что въ такихъ бассейнахъ (дающихъ стокъ грунтовой воды, благодаря проницаемости почвы, не смотря на сухость климата) испареніе съ самага бассейна будетъ незначительно, вслѣдствіе недостатка влаги на его поверхности, между тѣмъ какъ испареніе съ поверхности рѣки можетъ быть очень значительно при достаточной величинѣ ея. Какъ примѣры можно привести, напр. рѣки, которыя при переходѣ въ болѣе сухую область или пустыню теряютъ столько воды черезъ испареніе (отчасти, конечно, и черезъ просачиваніе), что чѣмъ дальше, тѣмъ сильнѣе мелѣютъ, и наконецъ совершенно исчезаютъ, не изливаясь въ море или какое нибудь озеро.

Испареніе можетъ быть также весьма значительно съ поверхности рѣкъ дающихъ большіе и продолжительные разливы въ теплое время года (см. напр. М. В. 1900 р. 302). Очевидно, что въ такихъ случаяхъ испареніе съ поверхности рѣки можетъ играть замѣтную роль въ процессѣ испаренія съ поверхности всего бассейна.

Тутъ умѣстно будетъ сказать также нѣсколько словъ о роли озеръ въ режимѣ стока и испаренія съ поверхности рѣчныхъ бассейновъ. Нерѣдко можно въ географической литературѣ встрѣтить болѣе или менѣе опредѣленно высказанное мнѣніе, что озера являются питателями рѣкъ. Однако, это положеніе, если его понимать въ томъ смыслѣ, что стокъ

съ бассейновъ, содержащихъ въ себѣ озера, больше, чѣмъ съ бассейновъ безъ озеръ, не всегда вѣрно или даже почти всегда не вѣрно, какъ уже давно показали В о е й к о в ъ и другіе изслѣдователи. Очевидно, что вліяніе озера на годовую величину испаренія съ бассейна будетъ зависѣть отъ того, испаряетъ ли озеро сравнительно больше или меньше, чѣмъ остальная часть бассейна. Какъ мы увидимъ ниже, отношеніе испаренія свободной водной поверхности къ испаренію съ растительнаго покрова мѣняется въ зависимости отъ климата страны. Въ жаркихъ и сухихъ странахъ преобладаетъ испареніе съ водной поверхности. Въ умѣренномъ климатѣ нерѣдко преобладаетъ испареніе съ суши. Въ влажныхъ и теплыхъ странахъ можетъ повидимому встрѣчаться преобладаніе то съ поверхности суши, то съ поверхности воды (см. примѣръ гл. V). Соотвѣтственно этому будетъ также мѣняться роль озера въ режимѣ рѣки. Въ теплыхъ сухихъ странахъ озеро увеличиваетъ испареніе и слѣдовательно уменьшаетъ стокъ. Съ увеличеніемъ поверхности озера испареніе можетъ увеличиться до такой степени, что стокъ совершенно прекращается. Тогда озеро изъ проточнаго обращается въ непроточное, и данный бассейнъ (включая въ него и озеро), не имѣющій стока въ море, испаряетъ столько же влаги, сколько выпадаетъ на его поверхности. Примѣромъ можетъ служить Каспійское море, съ поверхности котораго испаряется, кромѣ осадковъ на него выпадающихъ, вся вода, приносимая въ него Волгою и другими рѣками.

Однако существуютъ также озера, уменьшающія испареніе бассейна и увеличивающія стокъ, если онѣ и представляють лишь исключенія. Такимъ озеромъ является напр. Ладожское. Для доказательства этого В о е й к о в ъ ¹⁾ приводитъ слѣдующую таблицу, показывающую t^0 и упругость насыщ. паровъ при t^0 воды озера (t_a и F_a), и t^0 и упругость паровъ воздуха (на островѣ Валаамѣ):

	Ладожское оз.		Валаамъ	
	t_a	F_a	t	f
іюнь	2,5	5,5	12,5	8,6
іюль	4,5	6,3	18,7	9,6
августъ	8,0	8,0	15,6	10,6
сентябрь	9,5	8,8	8,7	7,1

1) Объ осадкахъ, стокѣ, испареніи и сгущеніи воды. М. В. 1908.

Мы видимъ, что въ юнѣ, юлѣ и августѣ должно происходить конденсація и лишь въ сентябрѣ испареніе; но конечно, оно уже незначительно.

Воейковъ полагаетъ, что на поверхности этого озера конденсація въ общемъ преобладаетъ надъ испареніемъ. Подобными же сгустителями влаги Воейковъ считаетъ озера: Телецкое и Байкаль въ Сибири, Верхнее и Гуронъ въ Сѣв. Америкѣ. Такія озера можно дѣйствительно назвать питателями рѣкъ, хотя вѣроятно лишь въ ограниченной степени. Замѣтимъ, что Воейковъ приписываетъ большой стокъ съ поверхности бассейна Невы (осадки = 532; стокъ = 374; исп. = 158) и незначительную величину испаренія именно конденсирующему дѣйствию озеръ въ бассейнѣ Невы. Если однако принять во вниманіе, что поверхность этихъ озеръ (15923 + 8563 □ в.) составляютъ лишь 10% площади всего бассейна (251 . 450 km) то нужно сомнѣваться въ томъ, чтобы конденсація паровъ на ихъ поверхности была въ состояніи значительно увеличить величину стока. Дѣйствительно для того, чтобы напр. стокъ увеличился всего на 50 мм, необходимо принять, что на поверхности озеръ сгущается слой воды въ полъ-метра толщины. Нужно признаться, что такая величина кажется всетаки слишкомъ большою. Къ вопросу о незначительномъ испареніи бассейна Невы мы возвратимся ниже. (см. гл. VIII).

Приводимъ въ заключеніе нѣкоторыя опредѣленія величины дѣйствительнаго испаренія озеръ. Повидимому, первое такое опредѣленіе принадлежитъ Воейкову¹⁾, который опредѣлилъ величину испаренія съ поверхности Каспійскаго моря, полагая его равнымъ расходу рѣкъ, изливающихся въ Каспій, плюсъ количество осадковъ на его поверхности. Исходныя величины слѣдующія:

Расходъ Волги:	291 km ³	или слой воды въ	664 мм.
Остальные притоки:	97	” ” ” ” ” ”	221 ”
Осадки на Каспій:	88	” ” ” ” ” ”	200 ”
Итого	476 km ³	или слой воды въ	1085 мм.

Такимъ образомъ средняя годовая величина испаренія Каспія получается равной 1 м. Относительно исходнаго матеріала нужно замѣтить, что данныя о расходѣ рѣкъ явля-

1) Воейковъ. Климаты земного шара. р. 521.

ются нѣсколько гипотетичными, за отсутствіемъ до сихъ поръ вполне надежныхъ данныхъ. Болѣе новыя измѣренія Колумійцова даютъ для расхода Волги нѣсколько меньшую величину. Fritzsche принимаетъ на основаніи ихъ 206 km³. При такой величинѣ расхода Волги испареніе Каспія получается равнымъ 892 mm.

Интересно сравнить съ испареніемъ Каспія испареніе Карабугазскаго залива его. Попытка опредѣленія послѣдней величины сдѣлана Шпиндлеромъ¹⁾. Карабугазскій заливъ соединенъ, какъ извѣстно, съ Каспійскимъ моремъ лишь узкимъ проливомъ, черезъ который происходитъ непрерывное теченіе воды изъ Каспія въ Карабугазъ, для замѣщенія воды, испарившейся съ поверхности послѣдняго. На основаніи измѣреній скорости теченія въ проливѣ, Шпиндлеръ вычисляетъ слѣдующія количества воды, полученныя Карабугазомъ отъ Каспія.

Лѣтнее полугодіе :	10,263 km ³
Зимнее „	7,663 „
Годъ	17,930 km ³

Полагая испареніе равнымъ величинѣ притока, Шпиндлеръ получаетъ для величины испаренія Карабугаза 17,93 km³ или 0,98 m, принимая во вниманіе, что поверхность Карабугаза равна 18,346 km². Къ найденной величинѣ нужно однако еще прибавить количество осадковъ. На основаніи климатологическаго атласа, мы можемъ послѣднюю величину считать равной 15 см, такъ что для испаренія Карабугаза получаемъ окончательно 98 + 15 см = 113 см.

Найденная величина достаточно хорошо, если принять во вниманіе неточность исходнаго матеріала въ обоихъ случаяхъ, согласуется съ результатомъ для Каспія. На основаніи большей солености воды въ Карабугазѣ можно было бы ожидать для него меньшую, чѣмъ отъ Каспія, величину испаренія; однако, какъ справедливо указываетъ Шпиндлеръ, испареніе Карабугаза будетъ значительно увеличено, благодаря преобладанію на немъ восточныхъ вѣтровъ, отличающихся большою сухостью.

Нѣсколько большую величину испаренія мы находимъ для небольшого прѣсноводнаго озера Salton Sea въ Калифор-

1) Труды Карабугазской экспедиціи. 1902. I ч. по гидрологіи. р. 18.

ніи (о котромъ мы упомянули въ введеніи), находящагося также въ очень континентальномъ климатѣ. Величина испаренія опредѣлялась какъ сумма паденія уровня озера (озеро это, образовавшееся благодаря перемѣнѣ русла рѣки Колорадо, теперь опять возвращеннаго въ старое русло, находится въ стадіи высыханія), плюсь притокъ двухъ рѣчекъ, плюсь осадки. Для 1909/10 года (съ 1 іюня до 1 іюня) исходныя данныя имѣли слѣдующія значенія ¹⁾:

паденіе уровня:	51,00 дюймовъ =	1280 mm
расходъ рѣкъ New River и Alciño	12,00 „ =	301 „
осадки:	6,00 „ =	151 „
Итого		69,00 дюймовъ = 1732 mm

Для 2-хъ предшествующихъ годовъ испареніе равнялось

1908/09:	59 дюймовъ =	1481 mm
1907/08:	51 „ =	1280 „

Въ среднемъ за 3 года испареніе получается равнымъ 60 дюймамъ = 1500 mm.

Представленіе объ испареніи тропическихъ озеръ можно получить на основаніи данныхъ объ испареніи озеръ Никарагуа и Манагуа, приведенныхъ у Merz'a (Beiträge zur Hydrographie Mittelamerikas. Mitt. Ver. f. Erdkunde. Leipzig. 1907). На основаніи наблюденій съ плавучими эвапорометрами Merz принимаетъ испареніе равнымъ 1575 mm для озера Манагуа, и 1309 mm для озера Nicaragua. Мы видимъ, что испареніе этихъ тропическихъ озеръ не превышаетъ испаренія озера въ Калифорніи. Объясненіе кроется въ большой влажности климата этихъ озеръ, въ среднемъ для отдѣльныхъ мѣсяцевъ колеблющейся между 80 и 90 %.

Глава V.

Роль растительнаго покрова.

А. Вліяніе на испареніе.

Въ составъ величины испаренія съ поверхности даннаго бассейна входитъ, конечно, и транспирація растительнаго по-

1) Bigelow. M. W. R. 1910. p. 1134.

крова. Нѣкоторые авторы склонны приписать этому фактору лишь второстепенную роль въ общемъ процессѣ испаренія, полагая, что главная часть испаренія совершается непосредственно съ поверхности почвы безъ помощи растительнаго покрова. Напр., Уле изъ общаго количества испаренной влаги въ бассейнѣ р. Залы (445 mm) лишь 71 mm или 16% относить на долю транспираціи растеній. Wallén для бассейна р. Дальэльфа принимаетъ величину транспираціи равной всего лишь 25 mm (15%). Мы увидимъ, однако, что эти величины далеко ниже дѣйствительности, и что испареніе растительнаго покрова играетъ весьма важную роль въ процессѣ испаренія съ поверхности суши. Не вдаваясь въ настоящемъ сочиненіи въ детальный разборъ вопроса объ испареніи растеній, которому посвящена громадная литература (ботанико-физиологическая часть ея собрана Burgerstein'омъ въ „Transpiration der Pflanzen“ 1904), остановимся лишь вкратцѣ на результатахъ работъ относящихся къ испаренію цѣлаго растительнаго покрова.

Что касается способовъ, примѣняемыхъ для опредѣленія величины испаренія различныхъ видовъ растительнаго покрова, то ихъ существуетъ нѣсколько. 1) Многие авторы опредѣляли величину испаренія растительнаго покрова на основаніи измѣренія испаренія отдѣльнаго растенія (или небольшого числа ихъ) въ искусственныхъ условіяхъ. Такія опредѣленія не имѣютъ однако большого значенія, такъ какъ факторы, опредѣляющія величину испаренія, какъ напр. влажность почвы, количество солнечнаго свѣта, получаемаго растеніемъ, температура и влажность воздуха и т. д. при условіяхъ опыта обыкновенно сильно отличаются отъ естественныхъ условій. Еще меньше, конечно, заслуживаютъ довѣрія результаты, основанные на испареніи отдѣльныхъ листьевъ. Насколько опредѣленія такого рода могутъ отклоняться отъ дѣйствительности, показываетъ результатъ, найденный Pfaff'омъ, согласно которому испареніе дуба въ теченіе одного лѣта достигаетъ такой величины, что для прикрытія убыли влаги потребовались бы осадки цѣлыхъ десятилѣтій¹⁾.

Болѣе надежными являются повидимому результаты лизиметрическихъ опытовъ, при которыхъ условія опыта болѣе

1) См. Burgerstein l. c.

подходятъ къ естественнымъ, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ, особенно если лизиметръ наполняется кускомъ почвы съ изслѣдуемымъ растительнымъ покровомъ, безъ нарушенія естественнаго строенія почвы и весь приборъ погружается въ почву, такъ чтобы поверхность почвы въ лизиметрѣ находилась на одномъ уровнѣ съ поверхностью окружающей почвы.

Нужно однако замѣтить, что техника этихъ приборовъ еще далеко не является окончательно выработанной. Результаты лизиметрическихъ опытовъ, повидимому, въ значительной степени зависятъ отъ формы и вещества лизиметровъ. Такъ, напр., проф. Гол о в к и н с к і й нашель при своихъ опытахъ, что количество просачивающейся воды увеличивается съ мощностью слоя почвы въ лизиметрахъ, что онъ объясняетъ конденсаціей паровъ въ почвѣ. Опыты В е л ь б е л я ¹⁾ указываютъ на то, что металлическія стѣнки лизиметра увеличиваютъ количество просачивающейся воды (благодаря ли тому, что онѣ способствуютъ конденсаціи паровъ въ почвѣ, или благодаря тому, что по нимъ непосредственно стекаетъ часть дождевыхъ водъ — этотъ вопросъ остается открытымъ). Такъ, согласно Вельбелю, количество просачившейся сквозь металлическіе лизиметры воды въ теченіе почти 2-хъ лѣтъ колебалось для различныхъ приборовъ отъ 20—30% количества осадковъ, между тѣмъ какъ при помощи подставныхъ воронокъ Эбермайера получался лишь весьма незначительный %, просачиванія. Интересно, что и Вельбель нашель увеличеніе количества просочившейся воды съ увеличеніемъ глубины лизиметровъ. Но въ данномъ случаѣ это является лишь слѣдствіемъ вліянія металлическихъ стѣнокъ лизиметровъ, и не соотвѣтствуетъ явленіямъ въ природѣ, ибо при помощи Эбермайеровскихъ воронокъ было констатировано замѣтное уменьшеніе просачиванія съ увеличеніемъ толщины слоя почвы.

Способъ Эбермайера состоитъ въ томъ, что подъ слой почвы извѣстной толщины подкапывается яма; съ нижней стороны къ этому слою подставляются воронки, собирающія воду, просачивающуюся сквозь изслѣдуемый слой почвы, въ сосудъ, находящійся въ ямѣ. Количество воды въ

1) Изслѣдованія химической лабораторіи Плотянской сел.-хоз. опытн. станци въ 1905 г. Зап. И. О. сел.-хоз. Ю. Р. 1906. № 7—8.

сосудѣ отъ времени до времени измѣряется. Преимущество этого способа передъ обыкновенными лизиметрами заключается въ томъ, что строеніе почвы остается ненарушеннымъ, и боковыя металлическія стѣнки отсутствуютъ. Недостаткомъ нужно считать то обстоятельство, что этотъ способъ не допускаетъ взвѣшиванія почвы для опредѣленія измѣненій содержанія влаги, какъ это дѣлается съ лизиметрическими сосудами; вслѣдствіе этого онъ не даетъ возможности опредѣлить съ точностью количество испарившейся воды за короткій промежутокъ времени, ибо для этого нужно знать, кромѣ количества осадковъ и просочившейся воды, еще измѣненіе содержанія влаги въ почвѣ. Кромѣ того онъ обладаетъ общимъ для всѣхъ лизиметрическихъ способовъ недостаткомъ, заключающимся въ томъ, что уничтожается связь между изслѣдуемымъ слоемъ почвы и нижними горизонтами почвы (грунтовыми водами).

Болѣе удобными на практикѣ, чѣмъ обыкновенные лизиметры, являются небольшіе испарители Рыкачева¹⁾ и Лермантова-Любославскаго²⁾.

Теоретически болѣе совершеннымъ чѣмъ лизиметрической, хотя практически несравненно болѣе затруднительнымъ, является способъ, основанный на опредѣленіяхъ влажности почвы на различныхъ глубинахъ, при помощи которыхъ вычисляются измѣненія запаса влаги въ почвѣ. Очевидно, что, зная ходъ запаса влаги въ почвѣ и количество осадковъ, можно вычислить ходъ испаренія. Этотъ способъ, между прочимъ былъ приложенъ Кингомъ для опредѣленія испаренія ржаного поля. По отношеніи къ лѣсу, къ которому, очевидно, не приложимы обыкновенные лизиметрическіе способы, этотъ способъ опредѣленія хода испаренія является повидимому единственнымъ, и потому попытка Высоцкаго опредѣлить этимъ путемъ ходъ испаренія лѣса (а также и другихъ видовъ растительнаго покрова) является въ высшей степени интересной³⁾. Наконецъ замѣтимъ, что Отоцкій

1) См. описаніе въ Зап. И. Ак. Н. сер. VII. т. VII. № 3 „Новый испаритель для наблюденій надъ испареніемъ травы“; видоизмѣненіе этого прибора описано въ „Почвовѣдѣніи“ 1910 г. № 2. Власовъ: „къ вопросу объ испареніи съ поверхности почвы въ естественномъ состояніи“.

2) М. В. 1894 р. 180.

3) См. труды опытныхъ лѣсничествъ 1901 и 1902. О подобныхъ же опытахъ Дулова см. *ibid.* 1904.

показаль приложимость этого способа и для мѣстностей, въ которыхъ въ теченіе года совершается замѣтное колебаніе уровня грунтовыхъ водъ¹⁾.

Обращаясь теперь къ сравненію различныхъ видовъ растительнаго покрова, замѣтимъ, что изъ всѣхъ видовъ его на первомъ мѣстѣ, что касается испаряющей силы стоитъ лѣсъ. Этотъ общепризнанный теперь фактъ, идущій въ разрѣзъ со взглядами недавняго прошлаго, былъ установленъ главнымъ образомъ благодаря трудамъ Отоцкаго. Подробное изложеніе этого вопроса можно найти въ вышеуказанномъ сочиненіи Отоцкаго, поэтому мы на немъ подробно останавливаться не будемъ. Замѣтимъ только, что преобладающая роль лѣса въ процессѣ испаренія доказана различными способами. Прежде всего, какъ показали изслѣдованія Отоцкаго и другихъ въ Россіи, Эбермайера въ Германіи, Анри во Франціи и т. д. уровень грунтовыхъ водъ, при одинаковыхъ почвенно-геологическихъ условіяхъ, стоитъ подъ лѣсомъ ниже, чѣмъ подъ сосѣднимъ полемъ. Объясняется это болѣе энергичной транспираціей лѣса, корни котораго, черпають значительныя количества влаги для испаренія изъ запаса грунтовыхъ водъ, даже при весьма глубокомъ уровнѣ ихъ (по Отоцкому до 18 m). Характернымъ и весьма хорошимъ доказательствомъ вѣрности этого объясненія является то обстоятельство, что, при достаточномъ количествѣ осадковъ, зимою, послѣ прекращенія транспираціонной дѣятельности лѣса, уровень грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ и полемъ опять выравнивается (что происходитъ главнымъ образомъ вслѣдствіе притока грунтовыхъ водъ отъ поля къ лѣсу).

Другимъ доказательствомъ преобладающаго значенія испаренія лѣса, находящійся въ связи съ только что указаннымъ, является фактъ, что почва подъ лѣсомъ, по крайней мѣрѣ къ концу вегетаціоннаго періода всегда является суше почвы подъ полемъ, между тѣмъ какъ весною влажность выравнивается или почва подъ лѣсомъ нерѣдко даже влажнѣе, чѣмъ подъ полемъ, благодаря тому, что таяніе снѣга въ лѣсу происходитъ медленнѣе, чѣмъ въ полѣ, такъ что въ лѣсу успѣваетъ просочиться въ почву больше талой воды

1) Отоцкій. Грунтовая вода ихъ происхожденіе, жизнь и распредѣленіе. Труды оп. лѣсничества 1906.

чѣмъ въ полѣ. При этомъ нужно имѣть въ виду запасъ влаги во всей толщѣ почвы отъ поверхности до капиллярнаго слоя, а не только верхній горизонтъ почвы, который въ лѣсу влажнѣе, чѣмъ въ полѣ, благодаря тому, что въ лѣсу испаряемость понижена и почва защищена отъ непосредственнаго испаренія лѣсною подстилкою. На основаніи сравненій только верхнихъ горизонтовъ почвы въ лѣсу и въ полѣ и держалось старое мнѣніе, что почва подъ лѣсомъ влажнѣе, чѣмъ въ полѣ, и что лѣсъ испаряетъ меньше влаги. (На аналогичной ошибкѣ базировало также ошибочное мнѣніе, что въ полѣ покрытомъ растениями влажность почвы выше, чѣмъ въ черномъ пару). Если принять это во вниманіе, то, какъ говоритъ Отоцкій, нѣтъ ни одного точнаго наблюденія, которое констатировало бы, что гдѣ нибудь и когда-нибудь запасъ влаги въ живомъ слоѣ почвы-грунта (отъ поверхности до капиллярнаго слоя) подъ лѣснымъ массивомъ былъ меньше, чѣмъ, при равныхъ условіяхъ, подъ открытымъ полемъ. (См. однако ниже о хвойныхъ лѣсахъ стр. 87).

Интересно, что для доказательства этого явленія, подтвержденнаго изслѣдованіями многочисленныхъ авторовъ, былъ, между прочимъ, сдѣланъ Г. О. Морозовымъ слѣдующій опыт¹⁾. Въ Шиповомъ лѣсу (Воронежской губ.) на 2-хъ пробныхъ площадяхъ, находившихся на разстояніи 256 м производились параллельныя наблюденія надъ влажностью почвы. Послѣ 15-ти мѣсячныхъ наблюденій, не показавшихъ никакой разницы въ содержаніи влаги почвы въ обоихъ пунктахъ, лѣсъ на одной изъ площадей былъ вырубленъ; вслѣдъ за вырубкой дѣйствительно началось повышеніе влажности почвы подъ вырубленнымъ участкомъ, по сравненію съ невырубленнымъ, причемъ среднее годовое содержаніе влаги въ первомъ участкѣ получилось на 3,8% выше чѣмъ во второмъ. Интересно, что и уровень воды въ колодезѣ перваго участка началъ замѣтно, хотя лишь черезъ нѣкоторое время, повышаться, между тѣмъ какъ уровень воды на второмъ участкѣ не измѣнялся²⁾. Такимъ образомъ выводы Отоцкаго о преобладаніи испаренія лѣса надъ испареніемъ другихъ видовъ растительнаго покрова вполне подтвердились.

1) См. Отоцкій I. с.

2) См. Почвовѣдніе 1910 р. 397—398.

Замѣтимъ, однако, что эти заключенія въ извѣстныхъ случаяхъ претерпѣваютъ кажущееся исключеніе. Какъ показали изслѣдованія Эбермайера и Гартмана, въ болѣе или менѣе гористой области, уровень грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ можетъ стоять не ниже, а выше уровня грунтовыхъ водъ въ полѣ. Въ связи съ этимъ и влажность почвы, можно думать, хотя соотвѣтственныхъ наблюденій повидимому не производилось, подъ лѣсомъ въ данномъ случаѣ выше, чѣмъ въ полѣ. Къ такому же заключенію относительно дѣйствія лѣса на уровень грунтовыхъ водъ пришелъ и Ненгу, давшій также вѣрное объясненіе этого факта¹⁾. По его мнѣнію различное дѣйствіе лѣса на уровень грунтовыхъ водъ въ равнинѣ и на горныхъ склонахъ объясняется различною ролью поверхностнаго стока въ обоихъ случаяхъ. На равнинѣ поверхностный стокъ обыкновенно слабъ или даже вовсе отсутствуетъ, на горныхъ склонахъ же, обыкновенно несравненно обильнѣе орошаемыхъ, поверхностный стокъ весьма значителенъ. Какъ извѣстно, лѣсъ въ общемъ стремится уменьшить поверхностный стокъ, способствуя проникновенію влаги въ почву. Очевидно, что въ равнинѣ, при общей незначительности поверхностнаго стока, это дѣйствіе лѣса замѣтнаго вліянія на грунтовые воды оказывать не можетъ, такъ какъ оно съ избыткомъ компенсируется обратнымъ дѣйствіемъ усиленной транспираціи лѣса. На горныхъ склонахъ же замедленіе стока и болѣе медленное таяніе снѣговъ въ лѣсу играетъ въ количественномъ отношеніи гораздо большую роль, чѣмъ на равнинахъ, благодаря болѣе значительному поверхностному стоку и большому количеству осадковъ. Благодаря этому просачиваніе воды въ почву на горныхъ склонахъ можетъ въ лѣсу увеличиться до такой степени, что оно превышаетъ дѣйствіе усиленнаго испаренія лѣса, и въ результатѣ получается не пониженный, а повышенный уровень грунтовыхъ водъ, по сравненію съ полемъ, не смотря на болѣе интенсивное испареніе лѣса. Такимъ образомъ этотъ фактъ нисколько не опровергаетъ общаго положенія о преобладаніи испаренія лѣса надъ испареніемъ другихъ видовъ растительности. (Замѣтимъ, что различное отношеніе лѣса къ грунтовымъ водамъ на равнинѣ и на горныхъ склонахъ играетъ важную роль при разборѣ вопроса о гидрологической роли лѣса, къ которому

1) См. Ненгу, *Fôrets et pluies*. Переводъ въ „Почвовѣдніи“ 1906.

мы приступимъ ниже). Преобладаніе испаренія лѣса надъ испареніемъ другихъ видовъ растительности вытекаетъ и изъ того обстоятельства, что испаряющая поверхность у лѣса во много разъ больше чѣмъ у всякаго другого растительнаго покрова. Наконецъ, въ пользу вышеуказаннаго соотношенія между испареніемъ лѣса и другихъ видовъ растительности говоритъ и то обстоятельство, что лѣсъ стоитъ на первомъ мѣстѣ, что касается количества продуцированнаго органическаго вещества на 1 площади, ибо можно, хотя лишь съ грубымъ приближеніемъ, считать количество испаренной воды пропорціональнымъ количеству продуцируемаго вещества. Согласно Hellriegel'ю, напр., клеверное поле при среднемъ урожаѣ даетъ около 4500 kg сухого вещества на гектаръ, между тѣмъ какъ буковый лѣсъ средняго качества производитъ 7057 kg сухого вещества. Относительный коэффициентъ транспираціи краснаго клевера равенъ 310, слѣд. количество испаренной клеверомъ съ гектара воды равно 1395000 kg. Принимая для буковаго лѣса такую же величину транспираціоннаго коэффициента (на самомъ дѣлѣ онъ по мнѣнію Hellriegel'я выше), мы получаемъ для величины транспираціи буковаго лѣса на гектаръ 2.187.670 kg, что соотвѣтствуетъ 219 mm, не считая количества воды испаренной непосредственно съ поверхности смооченныхъ дождемъ листьевъ и съ почвы¹⁾. Такія числа имѣютъ однако лишь относительное значеніе, ибо онѣ добыты при искусственныхъ, не соотвѣтствующихъ природѣ, условіяхъ.

Большаго интереса заслуживаетъ попытка В о с о ц к а г о (о которой мы уже выше упомянули) опредѣлить ходъ испаренія почвы подъ лѣсомъ и подъ другими видами растительнаго покрова, непосредственно слѣдя за измѣненіемъ влажности почвы и за количествомъ выпадающихъ осадковъ. Изслѣдованія эти производились въ Велико-Анадольскомъ опытномъ лѣсниществѣ и относятся къ 1892/3 году. Такъ какъ глубина грунтовыхъ водъ была больше 20 m, т. е. послѣднія были внѣ сферы дѣйствія корней деревьевъ, и на глубинѣ уже 3-хъ m начинался „мертвый горизонтъ изсушенія“ (т. е. промокание почвы отъ атмосферныхъ осадковъ не простиралось глубже 3-хъ метровъ, влажность нижнихъ слоевъ не подвергалась замѣтнымъ колебаніямъ), то авторъ ограничился опредѣленіемъ влажности почвы до глубины 3-хъ метровъ. Оче-

1) См. Энциклопедическій словарь сельск. хоз.

видно, что опредѣливъ, прибыль или убыль запаса влаги въ почвѣ за извѣстный промежутокъ времени, можно найти величину испаренія по формулѣ $V = N - \Delta W$ или $V = N + \Delta W$ гдѣ N количество осадковъ за этотъ промежутокъ времени, ΔW въ первомъ случаѣ прибыль, во второмъ случаѣ убыль запаса влаги. Ниже мы приводимъ извлеченіе изъ таблицъ Висоцкаго объ испареніи различныхъ видовъ растительнаго покрова, опредѣленномъ вышеуказаннымъ способомъ. Величины испаренія этой таблицы въ общемъ ниже дѣйствительности, вслѣдствіе недолавливанія осадковъ дождемѣрами. Это видно, между прочимъ, и изъ того, что за зимній періодъ 1892/3 г. отъ октября до середины мая въ общемъ осадковъ выпало 344 мм, почвенной влаги же накопилось 349 мм т. е. на 5 мм больше. Значитъ за это время какъ будто не только не происходило испареніе, но даже преобладала конденсація надъ испареніемъ, въ то время какъ въ степи испареніе эвапорометра равнялось 215 мм. Повидимому, тутъ играетъ роль недочетъ дождемѣровъ, уменьшающій величину испаренія. Принимая его равнымъ 10%, Висоцкій получаетъ слѣдующій общій балансъ влаги за „гидробиологическій“ годъ 1892/3. За зимній періодъ выпало осадковъ 378 мм, испарилось 29 мм, накопилось въ почвѣ 349 мм. За періодъ вегетаціи количество осадковъ равнялось 245 мм, убыль влаги въ почвѣ равнялась 310 мм, значитъ испареніе 555 мм. Итого, за весь циклъ осадковъ 623, испареніе $555 + 29 = 584$, прибыль влаги въ почвѣ 39 мм. Относительно полученной прибыли влаги въ почвѣ нужно замѣтить, что она весьма незначительна и объясняется чрезвычайною влажностью разсматриваемаго года, особенно зимняго періода. Въ общемъ же, какъ мы увидимъ ниже, лѣсъ при данныхъ климатическихъ условіяхъ не только не оставляетъ избытка осадковъ для питанія грунтовыхъ водъ, но, наоборотъ, стремится уменьшить запасъ влаги въ почвѣ и понизить уровень грунтовыхъ водъ, гдѣ послѣднія доступны его корнямъ.

При разсмотрѣннн этой таблицы, прежде всего бросается въ глаза то обстоятельство, что испареніе во всѣхъ изслѣдуемыхъ точкахъ въ теченіе даннаго лѣтняго періода больше количества осадковъ. Такъ какъ сравнительно влажный 1893 г. въ этомъ отношеніи, повидимому, не представляетъ собою исключительнаго случая, то изъ этого слѣдуетъ, что лѣтнее испареніе въ разсматриваемой области не ограничивается лѣт-

Таблица расхода влаги изъ почвы и осадковъ по средне-мѣсячнымъ даннымъ за лѣтній періодъ 1893 г. по Г. Н. Высоцкому (извлеченіе).

	Среднія суточные въ mm						Общая сумма	На 1 mm испареній на ст. № 6							
	IV/V	V/VI	VI/VII	VII/VIII	VIII/IX	IX/X		IV/IX	IV/V	V/VI	VI/VII	VII/VIII	VIII/XI	XI/X	IV/IX
До глубины 3-хъ метровъ :															
1. Яровья поля у ст. № 6	3,2		2,6	4,1	1,1	0,3	2,85	436	1,00		1,04	0,85	0,30	0,14	0,81
2. Первогодн.перелогъу №6	2,5		2,6	6,0	1,0	0,2	2,90	443	0,76		1,04	1,23	0,27	0,12	0,83
3. Сомкнутый лѣсъ въ 22 квартамъ	0,0	3,5	4,2	6,8	2,8	0,8	3,45	528	0,0	1,05	1,70	1,40	0,75	0,42	0,99
До глубины 1½ метра :															
1. Осенній парь у № 6	2,6		1,8	2,1	1,7	0,3	2,15	329	0,80		0,74	0,43	0,45	0,18	0,61
2. Весенній парь у № 6	2,3		1,9	1,6	2,5	0,3	2,10	321	0,70		0,77	0,33	0,67	0,18	0,60
3. Яровья поля у № 6	3,0		2,9	3,6	1,1	0,3	2,72	416	0,93		1,16	0,75	0,30	0,14	0,78
4. Цѣлинный склонъ къ N	1,3	4,5	3,4	4,2	1,0	1,9	2,90	444	0,43	1,36	1,40	0,87	0,27	0,98	0,83
5. Склонъ къ S	2,5	4,5	3,4	4,7	0,2	0,6	3,10	472	0,81	1,37	1,38	0,98	0,06	0,31	0,88
Осадки :															
	Междумѣсячныя суммы въ mm														
1. На ст. № 6 (степь)	41	47	87	52	21	38	1,56	286	Примѣчаніе. Счетъ мѣсяцевъ веденъ отъ 15-го число по 15-ое. Знакъ IV/IX обозначаетъ періодъ съ 15 апр. по 15 сентября.						
2. На ст. № 5 (поляна)	51	61	96	49	14	35	1,67	306							
Испаряемость :															
1. На ст. № 6 (степь)	94	102	74	150	116	57	3,23	591							
2. На ст. № 5 (поляна)	47	59	35	59	45	27	1,54	282							

ними осадками, но уменьшает также запас влаги въ почвѣ, накопившійся въ теченіе холоднаго времени года. На сколько можно судить по имѣющимся даннымъ, это относится не только къ степной области, но, повидимому, также и къ остальной Россіи, за исключеніемъ, можетъ быть, сѣверной части ея, причемъ, однако, чѣмъ дальше къ юговостоку, тѣмъ рѣзче это явленіе будетъ выражено, т. е. тѣмъ сильнѣе будетъ изсушенъ грунтъ къ концу вегетаціоннаго періода. Какъ видно изъ таблицы, даже подъ чернымъ паромъ въ теченіе лѣта происходитъ не увеличеніе, но хотя и небольшое уменьшеніе накопившагося за зимній періодъ запаса влаги.

Что касается абсолютной величины испаренія, то далеко на первомъ мѣстѣ стоитъ лѣсъ (28-лѣтнее кленово-ясеновое искусственное насажденіе). Испареніе яровыхъ полей и цѣлины приблизительно одинаково. Незначительное преобладаніе испаренія послѣдней объясняется болѣе сильнымъ испареніемъ осенью, когда, послѣ уборки хлѣба испареніе поля сильно понижено. Вліяніе наклона поверхности по отношенію къ странамъ свѣта выражается въ томъ, что южный склонъ, получающій болѣе интенсивную инсоляцію, испаряетъ больше, чѣмъ сѣверный склонъ. На послѣднемъ мѣстѣ стоятъ, какъ и слѣдовало ожидать, черные пары.

Что касается величины испаряемости, то вышеприведенная таблица даетъ наглядное доказательство того, что величина испаряемости не даетъ намъ истиннаго испаренія въ природѣ. Дѣйствительно, испаряемость на полянѣ далеко ниже дѣйствительнаго испаренія во всѣхъ разсматриваемыхъ точкахъ, между тѣмъ какъ испаряемость въ степи, (благодаря сильному вліянію вѣтра) значительно больше всѣхъ остальныхъ величинъ испаренія.

Ходъ дѣйствительнаго испаренія лишь въ самыхъ грубыхъ чертахъ соотвѣтствуетъ ходу испаряемости. Какъ и испаряемость, величины испаренія имѣютъ 2 максимума: одинъ въ періодъ IV/VI (за исключеніемъ лѣса) и другой въ пер. VII/VIII, и второстепенный минимумъ въ пер. VI/VII, который объясняется обильными осадками и повышенной относительной влажностью воздуха въ это время. Общее возрастаніе испаренія вмѣстѣ съ испаряемостью, въ началѣ лѣта, и убываніе его къ осени само собою понятны. Какъ велика, однако, разница между ходомъ испаряемости и дѣйствительнаго испаренія, видно изъ второй графы, дающей отношеніе испаренія къ

испаряемости въ степи. Если разсматриваемъ испаряемость въ степи, то видимъ, что въ разгаръ весны и въ началѣ лѣта, послѣ весенняго промокания почвы, дѣйствительное испареніе больше испаряемости. Осенью же дѣйствительное испареніе, какъ въ полѣ, такъ и въ лѣсу, составляетъ лишь незначительную долю испаряемости; при этомъ интересно, что сильное отставаніе отъ эвапорометра начинается гораздо раньше прекращенія растительной жизни. Очевидно тутъ играетъ роль изсушенность почвы, запасъ влаги которой въ теченіе лѣта сильно уменьшился; можно думать, что при большемъ количествѣ влаги, транспирація растений не такъ сильно понизилась бы уже къ началу августа. Вообще, относительно найденныхъ величинъ испаренія нужно полагать, что онѣ далеко не представляютъ собою максимума испаренія, возможнаго при условіяхъ испаряемости даннаго лѣта. И въ теченіе этого лѣта, какъ это почти всегда имѣетъ мѣсто въ природѣ, дѣйствительное испареніе часто сильно отставало отъ возможнаго максимума, вслѣдствіе недостатка во влагѣ. Въ справедливости этого можно убѣдиться на основаніи слѣдующаго примѣра, выведеннаго изъ данныхъ Высоцкаго. Въ теченіе 17 дней отъ 8-го до 25-го іюля лѣсъ испарялъ 171,1 мм (99 мм изъ почвы + 72,1 мм осадковъ); въ 16 дней отъ 25 іюля до 9 авг. всего 94,7 мм (68,3 изъ почвы + 26, 4 мм осадковъ). Между тѣмъ въ теченіе II-го періода ¹⁰ была выше и относительная влажность замѣтно понижена, что и выражается въ величинѣ испаряемости (на ст. № 6): въ первомъ періодѣ 50,4 мм; во II періодѣ 92,3 мм. Очевидно, что пониженіе испаренія лѣса во II періодѣ, соответствующее сильному увеличенію испаряемости, объясняется только недостаткомъ влаги (уменьшеніе осадковъ и изсушеніе почвы). Такимъ образомъ мы вправѣ думать, что, при большемъ количествѣ влаги, лѣсъ въ данномъ случаѣ испарялъ бы въ теченіе 5 лѣтнихъ мѣсяцевъ значительно больше 528 мм, которые слѣд. далеко не представляютъ собою максимума испаренія лѣса.

Упомянемъ еще объ изслѣдованіяхъ Дулова, произведенныхъ по способу Высоцкаго въ 1901/2 году, въ Велико-Анадольскомъ насажденіи. Общій балансъ влаги слѣдующій: отъ 3/X01 до 5/IV02 выпало 178 мм; запасъ влаги въ почвѣ увеличился на 136 мм, значитъ, въ зимній періодъ испареніе равнялось 42 мм (если оставить безъ вниманія недочетъ

дождемъра). Отъ 5/IV 02 до 17/IX 02 выпало осадковъ 200 мм, запасъ влаги уменьшился на 161 мм; значить, за вегетативный періодъ испарилось 361 мм. За весь циклъ выпало осадковъ 378 мм, испарилось 403 мм, такъ что этотъ гидробиологическій годъ закончился дефицитомъ влаги въ 25 мм. Сравнительно небольшая величина испаренія въ этомъ году объясняется крайней засушливостью года, вслѣдствіе чего лѣсъ, за недостаткомъ осадковъ, доводитъ грунтъ до крайней степени изсушенія. Интересно, что въ данномъ году испареніе лѣса въ началѣ вегетативнаго періода (приблизительно отъ конца мая до начала іюля) больше испаряемости. Къ осени же, еще значительно раньше окончанія вегетативной дѣятельности, испареніе сильно отстаетъ отъ величины испаряемости. Изъ сравненія данныхъ испаренія Висоцкаго и Дулова за 1892/3 и 1901/2 можно видѣть какую важную роль въ процессѣ испаренія растений въ степной области играютъ зимніе осадки. За періодъ вегетаціи осадки въ первомъ году лишь немного больше, чѣмъ во второмъ, въ то время какъ величина испаренія за періодъ вегетаціи въ первомъ случаѣ на 182 мм больше, чѣмъ во второмъ (543 мм — 361 мм), и въ то время какъ 1901/2 годъ закончивается даже небольшимъ избыткомъ влаги, въ 1892/3 году деревья сильно страдаютъ отъ недостатка влаги. Все это объясняется значительно большимъ запасомъ зимней влаги въ 1901/2 г.

При такой большой испаряющей способности лѣса, которой, какъ мы видѣли, влажность почвы и осадки часто не въ состояніи удовлетворять, естественно ожидать, что въ тѣхъ случаяхъ, когда грунтовые воды находятся въ сферѣ дѣйствія корней, лѣсъ будетъ энергично черпать ихъ воду для покрытія потребности въ испареніи. Это заключеніе, какъ мы видѣли, вполне подтверждается въ дѣйствительности. Интересно, что Отоцкій пытался опредѣлить испареніе лѣса, принимая во вниманіе пониженіе уровня грунтовыхъ водъ (см. объ этомъ Отоцкій: „Грунтовые воды“). Ограничиваемся приведеніемъ результатовъ. Для лѣса на 25-мъ кварталѣ въ Велико-Анадольскомъ лѣсничествѣ (расположеннаго нѣсколько ниже 22-го квартала, къ которому относились предыдущія разсужденія и съ уровнемъ грунтовыхъ водъ на глубинѣ 8—9 м) онъ находитъ величину испаренія въ теченіе 1900/1 „гидробиологическаго“ года (отъ октября 1900 до октября

1901 года) равной 659 мм, между тѣмъ какъ количество осадковъ равнялось 376 мм. Значить въ теченіе этого года испареніе лѣса превосходило количество осадковъ на 283 мм, почерпнутыхъ изъ запаса грунтовыхъ водъ. При этомъ можетъ явиться вопросъ, какъ же при такихъ обстоятельствахъ грунтовая вода не понизилась до такой глубины, чтобы выйти изъ сферы дѣйствія корней? Объясненіе по мнѣнію Отоцкаго заключается въ томъ, что 1) рассматриваемое насажденіе еще сравнительно молодо (съ 1879 года); 2) убыль грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ возмѣщается притокомъ ихъ съ полянъ и съ окружающей степи.

Что усиленный каптажъ грунтовыхъ водъ лѣсомъ можетъ дѣйствительно привести къ прогрессивному пониженію грунтовыхъ водъ подъ лѣсными насажденіями, Отоцкій доказалъ для искусственнаго насажденія въ Черномъ Лѣсу (Херсонской губ.). Тутъ констатировано прогрессивное пониженіе уровня воды въ колодцѣ въ лѣсу; вмѣстѣ съ тѣмъ происходитъ болѣе медленное пониженіе уровня воды въ колодцѣ на сосѣдней полянѣ, объясняющееся тѣмъ, что убыль грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ вызываетъ стокъ грунтовыхъ водъ отъ поляны къ лѣсу. Аналогичнымъ путемъ для лиственнаго лѣса Задняя Гарь (Новгор. губ.), въ которомъ грунтовая вода въ теченіе лѣтняго періода 1901 года отъ разстоянія въ 1 метръ отъ поверхности почвы понизилась до разстоянія 5-ти метровъ, Отоцкій опредѣлилъ испареніе равное 525 мм т. е. немного больше средняго годоваго количества осадковъ. Эта величина въ данномъ случаѣ представляетъ лишь величину транспираціи деревьевъ. Если прибавить еще количество воды, испарившееся непосредственно съ поверхности смоченныхъ дождемъ листьевъ и изъ почвы, то и въ данномъ случаѣ получается величина транспираціи, значительно превосходящая годовое количество осадковъ. Конечно, эти опредѣленія величины испаренія, какъ сознаетъ самъ Отоцкій, далеко нельзя назвать точными; всетаки онѣ подтверждаютъ положеніе, что лѣса являются наиболѣе крупными потребителями влаги на земномъ шарѣ (Эбермайеръ). Приведенный примѣръ (Задняя Гарь) вмѣстѣ съ другими наблюденіями надъ грунтовыми водами, указываетъ на то, что и въ болѣе сѣверныхъ широтахъ испареніе лѣса является весьма значительнымъ. Отоцкій полагаетъ даже, что, благодаря болѣе высокому, въ общемъ, положенію уровня грун-

товыхъ водъ, въ сѣверныхъ широтахъ испареніе лѣсовъ едва ли уступаетъ испаренію лѣсовъ въ южной Россіи, страдающихъ отъ недостатка влаги вслѣдствіе болѣе глубокаго залеганія грунтовыхъ водъ.

Что касается интереснаго вопроса о соотношеніи величинъ испаренія различныхъ породъ лѣса, то его нужно считать еще открытымъ. Замѣтимъ, что въ ботаникѣ, хвойныя и лиственные деревья, что касается отношенія къ влагѣ, относятся къ различнымъ классамъ: первыя относятся къ ксерофиламъ или сухолюбамъ, вторыя къ трополитамъ, представляющимъ собою какъ-бы соединеніе ксерофильнаго и гидрофильнаго характеровъ. Лѣтомъ онѣ являются гидрофилами, зимою ксерофилами. Въ связи съ этимъ находится и листопадъ осенью. Назначеніе его заключается, по крайней мѣрѣ отчасти, въ томъ, чтобы уменьшить большую испаряющую способность лиственныхъ деревьевъ, которая зимою не могла бы быть удовлетворена, вслѣдствіе того, что въ теченіе зимы почва промерзаетъ и осадки лишь въ незначительномъ количествѣ проникаютъ въ почву. Хвойныя же деревья въ такой защитѣ отъ чрезмѣрнаго испаренія зимою не нуждаются, ибо они, какъ ксерофилы, вообще приспособлены экономно обходиться съ влагою.

Существуютъ наблюденія, говорящія въ пользу весьма незначительнаго испаренія хвойнаго (сосноваго) лѣса, уступающаго даже испаренію въ полѣ. Къ такому выводу пришли Ивановъ и Сажинъ на основаніи наблюденій надъ режимомъ грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ и подъ сосѣдней поляной (см. Почвовѣдѣніе 1905 и 1906) и Охлябининъ на основаніи опредѣленія влажности почвы въ лѣсу и въ полянѣ. Первые нашли, что подъ сосновымъ лѣсомъ (въ усадьбѣ Парфинской лѣсной школы, Новгород. губ.) уровень грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ выше (даже и лѣтомъ), чѣмъ подъ поляной. Охлябининъ¹⁾ нашелъ для сосноваго лѣса (Бузулукскій боръ Самарской губ.), что средній запасъ влаги въ почвѣ по крайней мѣрѣ на глубинѣ $1\frac{1}{4}$ —2 метр.) въ теплое время года подъ лѣсомъ выше, чѣмъ въ полянѣ. Приводимъ въ подтвержденіе слѣдующую таблицу О х л я б и н и н а, дающую средній запасъ влаги въ почвѣ до глубины 1,25 м подъ лѣсомъ и подъ поляной, въ ттт слоя воды.

1) См. Зап. И. Р. Г. О. по общ. геогр. т. 47.

	1904/5			1905/6			1906/7		
	Хол. пер.	Тепл. пер.	Годь.	Хол. пер.	Тепл. пер.	Годь.	Хол. пер.	Тепл. пер.	Годь.
Лѣсъ . . .	75,5	70,6	73,2	102,1	80,4	92,6	118,0	81,4	97,2
Поляна . .	88,1	70,3	79,8	108,2	77,1	95,3	100,8	56,9	76,3

Въ пользу значительнаго преобладанія испаренія лиственныхъ деревьевъ говорятъ также опыты Ноенпел'я съ отдѣльными деревьями. Опыты эти однако, по мнѣнiю Вольни, ни въ коемъ случаѣ нельзя считать точными ¹⁾.

Мнѣнiя о преобладанiи испаренія лиственныхъ деревьевъ придерживается и Wiesner, (при чемъ онъ еще относительно лиственныхъ полагаетъ, что вѣчнозеленыя испаряють меньше, чѣмъ лиственные, лишающiяся листвы).

Вольни на основанiи своихъ опытовъ придерживается противоположнаго мнѣнiя, считая испаренiе хвойныхъ деревьевъ въ теченiе цѣлаго года выше испаренiя лиственныхъ, причемъ однако въ теченiе лѣта отношенiе обратное (см. Wolln'y. Einfluss d. Pflanzendecke auf d. Wasserführung d. Flüsse. M. Z. 1900).

Что касается изслѣдованiй Отоцкаго, то онъ повидимому не указываютъ на значительную разницу въ испаряющей способности хвойныхъ и лиственныхъ лѣсовъ, подъ тѣми и другими наблюдалось пониженiе уровня грунтовыхъ водъ, по сравненiю съ полемъ.

Высоцкiй считаетъ разсматриваемый вопросъ открытымъ, хотя и онъ полагаетъ, что лѣтомъ преобладаетъ испаренiе лиственнаго, зимою хвойнаго лѣса ²⁾.

Что касается испаренiя остальныхъ видовъ растительнаго покрова, то, какъ показали многочисленныя опыты, испаренiе почвы, покрытой растенiями, всегда больше испаренiя

1) См. Burgerstein I. с.

2) См. Высоцкiй. О взаимныхъ соотношенiяхъ между лѣсною растительностью и влагою преимущественно въ южно-русск. степяхъ. Труды опытныхъ лѣсничествъ. 1904. II).

голой почвы. Это доказано, какъ непосредственными наблюденіями надъ испареніемъ голыя почвы и почвы съ растительнымъ покровомъ въ лизиметрахъ, такъ и наблюденіями надъ влажностью почвы; наконецъ это доказано и наблюденіями надъ грунтовыми водами. (См. напр. Наблюденія въ штатѣ Висконзинъ въ Америкѣ, М. В. 1893, показавшія, что при не очень глубокомъ уровнѣ грунтовыхъ водъ послѣдній подъ растительнымъ покровомъ нѣсколько пониженъ по сравненію съ уровнемъ подъ голою почвою).

Ограничиваемся приведеніемъ нѣсколькихъ примѣровъ. Мы уже выше видѣли изъ наблюденій Высоцкаго, что черныя пары испаряетъ меньше, чѣмъ почва съ растительнымъ покровомъ. По опытамъ Marie-Davy, испареніе за 9 дней отъ 20 по 28 іюля составляло:

Голая почва	28,89 mm
Газонъ	53,72 mm

Vogel, на основаніи опытовъ съ вегетативными ящиками, нашелъ слѣдующія величины испаренія въ граммахъ съ 1 кв. ф. въ теченіе 108 дней (Локотъ: Влаж. почвы):

	Почвы	
	глинистая	известковая
1) не засѣянная почва	7044	7561
2) клеверъ (не совсѣмъ нормальн. ростъ)	17828	19299
3) овесъ	21692	22919
4) пшеница	20169	22627
5) рожь	20439	22084
6) ячмень	19772	22056

или по перечисленіи на высоты слоя воды: 76 и 81 mm для обнаженной почвы и до 234—247 mm для почвы засѣянной.

Эти числа съ достаточною ясностью показываютъ, какъ значительна транспирація растительнаго покрова, и что она можетъ значительно превосходить испареніе непосредственно изъ почвы, особенно, если принять во вниманіе, что испареніе самой почвы подъ вліяніемъ растительнаго покрова замѣтно понижено. (Послѣднее, между прочимъ, доказывается тѣмъ, что верхній слой почвы подъ растительнымъ покровомъ влажнѣе, чѣмъ у голыя почвы, между тѣмъ какъ общее содержаніе влаги, какъ мы уже сказали, въ почвѣ подъ растительнымъ покровомъ понижено).

Нѣкоторою мѣрою испаренія отдѣльныхъ видовъ растительности, является количество продуцируемаго органическаго вещества. Конечно это количество можетъ дать намъ только приблизительное представленіе о величинѣ испаренія, ибо число граммовъ воды, испаренной для производства одного грамма органическаго вещества, или т. н. коэффициентъ транспираціи, является далеко не постоянной величиной. 1) онъ зависитъ, какъ можно было ожидать а priori, отъ концентраціи растворовъ питательныхъ веществъ въ почвѣ; при концентрированныхъ растворахъ (при удобреніи или при небольшой влажности почвы) транспираціонный коэффициентъ меньше, при болѣе разбавленныхъ растворахъ (отсутствіе удобрения, большая влажность) онъ больше; 2) транспираціонный коэффициентъ зависитъ и отъ природы растенія. Многіе авторы пытались опредѣлить транспираціонные коэффициенты различныхъ культурныхъ растеній, однако результаты получились совершенно несогласные между собою, ввиду вліянія различныхъ постороннихъ факторовъ и непостоянства коэффициента для одного и того же вида культурныхъ растеній. Впрочемъ, даже для одного и того же растенія величина транспираціоннаго коэффициента не постоянна, а находится въ зависимости отъ періодовъ его развитія (см. напр. у Л о к о т я , Влажность почвы). Ограничиваемся приведеніемъ слѣдующ. таблицы, дающей представленіе о томъ, между какими предѣлами колеблется величина коэффициента а также показывающей несогласіе данныхъ различныхъ авторовъ:

Величина испаренія на 1 гр. сухого вещества составляетъ:

	по Hellriegel'ю	по Wollny.
для гороха	292 гр.	416 гр.
„ ячменя	310 „	774 „
„ яровой сурѣпицы	337 „	рапса 912 „
„ гречихи	371 „	646 „
„ овса	402 „	665 „

Выше мы указали на влажность почвы, какъ на величину, характеризующую силу транспираціи растительнаго покрова. Хотя это въ общемъ вѣрно, всетаки нельзя упускать изъ вида, что на влажность почвы кромѣ транспираціи самихъ растеній вліяетъ еще транспирація почвы и по-

верхностный стокъ. Что эти 2 фактора могутъ существенно измѣнить картину, видно изъ слѣдующей таблицы, дающей намъ запасъ влаги до глубины 1 сажени 1 апрѣля и 6 сентября на Полтавскомъ опытномъ полѣ въ черноземной почвѣ подъ залежью, подъ озимной пшеницей и подъ свекловицей 1):

			Осадки. Урожай на десятину.			
	1 апр.	6 сент.	Разн.	всего	сух. вещ.	
Залежь	606	446	160	218	80 пуд.	
Оз. пшен.	691	530	161		350	301
Свекловица	731	596	135		2800	1320

Урожай сухого вещества сѣна на залежи составляетъ 60 пуд., свекловицы 1320 пудовъ. Не можетъ быть сомнѣнія въ томъ, что покровъ свекловицы испарялъ значительно больше воды, чѣмъ травяной покровъ, тѣмъ не менѣе влажность почвы подъ залежью понизилась сильнѣе чѣмъ подъ свекловицей (на 160 mm противъ 135 mm). Повидимому это объясняется ослабленіемъ поверхностнаго стока на болѣе разрыхленной почвѣ свекловичнаго поля, кромѣ того, можетъ быть, и пониженіемъ испаренія самой почвы.

Изъ систематическихъ наблюденій, произведенныхъ надъ испареніемъ растительнаго покрова особеннаго вниманія заслуживаютъ многолѣтнія наблюденія надъ испареніемъ дерна въ Константиновской обсерваторіи, при помощи испарителя Рыкачева (см. Власовъ. Къ вопросу объ испареніи съ поверхности почвы въ естественномъ ея состояніи. Почвовѣдѣніе 1910, р. 133—157, также Рыкачевъ, Зап. Имп. Ак. Н. сер. VIII, т. VII, № 3). Испаритель Рыкачева, описаніе котораго можно найти въ указанныхъ сочиненіяхъ, даетъ, какъ можно думать на основаніи нѣкоторыхъ провѣрочныхъ опытовъ (см. Власовъ I. с.), величины испаренія не очень сильно отличающіяся отъ дѣйствительнаго испаренія дерна въ природѣ²⁾). Въ результатѣ десятилѣтнихъ наблюденій, отношенія испаренія къ испаряемости въ отдѣльные мѣсяцы равны:

май	іюнь	іюль	августъ	сент.
1,4	1,4	1,6	1,8	1,4

1) См. Измаильскій, Влажность почвы и грунтовая вода.

2) Ср. стр. 168—169.

Примѣняя эти отношенія къ 30 лѣтнимъ среднимъ испаряемости, В л а с о в ъ получаетъ слѣд. среднія величины испаренія дерна въ Павловскѣ въ сопоставленіи съ осадками:

	май	іюнь	іюль	августъ	сент.	сумма
осадки	48 мм	61 мм	80 мм	87 мм	56 мм	332 мм
испареніе	74	89	89	77	35	364
разность	-26	-28	-9	+10	+21	-32

Итакъ испареніе въ началѣ лѣта, до іюля включительно, больше, въ августѣ и сентябрѣ меньше осадковъ. За весь періодъ май — сентябрь испареніе немного больше осадковъ. Что касается отношенія испаренія къ испаряемости, то мы видимъ, что десятилѣтнія среднія отдѣльныхъ мѣсяцевъ не очень сильно отличаются другъ отъ друга. Характернымъ отличіемъ отъ соотвѣствующихъ величинъ для южной Россіи является то обстоятельство, что въ Павловскѣ разсматриваемое отношеніе достигаетъ слабого максимума въ августѣ, между тѣмъ какъ на югѣ, какъ мы видѣли изъ опытовъ В с о ц к а г о, это отношеніе имѣетъ сильный максимумъ весною или въ началѣ лѣта, осенью же сильно уменьшается, что, можетъ быть, отчасти объясняется недостаткомъ влаги осенью, вслѣдствіе сильной изсушенности почвы.

Весьма интересною является попытка М. А. Рыкачева выразить зависимость величины испаренія дерна отъ главныхъ метеорологическихъ факторовъ, вліяющихъ на него, именно, недостатка насыщенія, силы вѣтра и солнечнаго освѣщенія (число солнечныхъ часовъ и высота солнца надъ горизонтомъ). На основаніи наблюденій (по 3 раза въ сутки) въ августѣ, сентябрѣ и октябрѣ 1907 года, онъ получаетъ для величины испаренія въ сотыхъ доляхъ мм, въ теченіе часа, слѣдующую формулу:

$$E = A(F - f) + BW(F - f) + Ci \cdot \sin^2 h \cdot (F - f).$$

$F - f$ = недостатокъ насыщенія, вычисленный по упругости паровъ (F), насыщающихъ воздухъ при средней для данного срока t^0 воздуха, и по абсолютной влажности воздуха (f). W = скорость вѣтра (число метровъ въ секунду); i = число часовъ сіянія солнца на каждые 10 часовъ; h средняя высота солнца за данный срокъ; квадратъ синуса h взять на томъ основаніи, что съ уменьшеніемъ h увеличивается не только величина площади, на которую распределяется дан-

ный пучекъ лучей, но и толщина слоя атмосферы, проходямаго этимъ пучкомъ; $A = 0,806$; $B = 0,451$; $C = 1,572$. Что касается точности формулы, то она весьма невелика. Среднее отклоненіе вычисленной величины отъ дѣйствительной равно въ августѣ, сентябрѣ и октябрѣ, соотвѣтственно $\pm 3,8$; $3,7$; $2,4$ mm или въ процентахъ: ± 23 ; 34 ; 53% . Однако бѣльшаго соотвѣтствія едва ли можно было ожидать, если принять во вниманіе, что въ вышеприведенную формулу входятъ далеко не всѣ факторы, вліяющіе на величину испаренія. Такъ, напр., въ формулу не входитъ влажность почвы, играющая весьма важную роль въ испареніи, какъ мы это видимъ изъ наблюденій В. Соцкаго; въ данномъ случаѣ вліяніе влажности нѣсколько менѣе, вслѣдствіе меньшихъ колебаній ея, но всетаки замѣтно (см. Малюшицкій¹⁾); затѣмъ испареніе зависитъ, какъ показалъ Рыкачевъ и отъ того, смоченъ ли дернъ дождемъ, или нѣтъ. Наконецъ вліяютъ и погрѣшности при опытѣ, какъ напр. брызги дождя, со стороны попадающія въ испаритель и т. д.

Важно замѣтить большую величину коэффициента C при членѣ съ солнечнымъ сіяніемъ, доказывающую, что послѣднее играетъ весьма важную роль въ ходѣ величины испаренія растительнаго покрова, даже болѣе значительную чѣмъ вѣтеръ, насколько можно заключить на основаніи формулы.

Въ связи съ вліяніемъ инсоляціи находится слѣдующее замѣчательное явленіе: именно, суточная амплитуда испаренія дерна значительно больше, чѣмъ амплитуда испаряемости. Это легко видно изъ слѣдующей таблицы Рыкачева, дающей среднія величины испаренія въ сотыхъ мм. для трехъ вышеуказанныхъ сроковъ:

	I	II	III
	9 р. м.—7 а. м.	7 а. м.—1 р. м.	1 — 9 р. м.
Августъ: дернъ	2,95	15,65	8,22
атмографъ	1,38	5,06	5,85
эвапором.	0,68	4,05	4,08
Сентябрь: дернъ	1,23	9,77	5,29
атмографъ	0,99	3,40	4,77
эвапором.	0,48	2,93	3,24

1) Малюшицкій: Къ вопросу о приложимости эвапорометрическихъ показаній для запросовъ сельско-хозяйственной практики. Изв. Моск. с.-хоз. Инст. 1900.

	I 9 р. м. — 7 а. м.	II 7 а. м. — 1 р. м.	III 1 — 9 р. м.
Октябрь: дернъ	0,73	4,30	2,95
атмографъ	1,55	1,93	3,41
эвапором.	1,12	1,66	2,55

Для дерна отношенія утренняго испаренія къ ночному (II: I) въ августѣ, сентябрѣ и октябрѣ равны соотвѣтственно: 5,31; 7,94; 6,00; среднее: 6,42. Для атмографа соотвѣтствующія числа равны: 3,67; 3,43; 1,25; среднее: 2,78. Для эвапорометра: 5,96; 6,11; 1,48; среднее: 4,52.

Мы видимъ, что испареніе дерна увеличивается днемъ, подъ вліяніемъ инсоляціи не только абсолютно, но и относительно сильнѣе, чѣмъ испаряемость. Интересно что, какъ видно изъ таблицы, максимумъ испаряемости падаетъ на III срокъ (1 р. м. — 9 р. м.) между тѣмъ какъ максимумъ испаренія падаетъ на II срокъ (7 а. м. — 1 р. м.), что конечно также объясняется большею инсоляціею въ этотъ срокъ.

Замѣтимъ, что еще гораздо болѣе рѣзко выраженную суточную амплитуду транспираціи нашель Тольскій¹⁾ въ своихъ опытахъ надъ испареніемъ сосновыхъ сѣянцевъ въ Боровомъ оп. лѣсничествѣ, (Самарской губ.). Ночное испареніе сѣянцевъ въ общемъ составляло лишь около 1% дневного.

О многочисленныхъ опытахъ другихъ изслѣдователей съ отдѣльными растениями, доказывающихъ большое вліяніе свѣта на транспирацію, см. Burgerstein: *Transpiration der Pflanzen* 1904.

Говоря о вліяніи метеорологическихъ факторовъ на испареніе, нельзя обойти молчаніемъ работу проф. Срезневскаго: „Объ испареніи съ поверхности человѣческаго тѣла и растений“. Въ ней сдѣлана интересная попытка, опредѣлить нѣсколько ближе характеръ зависимости испаренія отъ гигрометрическаго состоянія воздуха. Исходя изъ представленія о порахъ листьевъ и цвѣтовъ, черезъ которыя главнымъ образомъ происходитъ испареніе, какъ о небольшихъ (вогнутыхъ) менискахъ воды, Срезневскій заключаетъ, что съ возрастаніемъ относительной влажности воздуха испаряющая поверхность листьевъ увеличивается, т. е. поры

1) Тольскій: объ испареніи сосновыхъ сѣянцевъ, см. Труды по лѣсному оп. дѣлу. Вып. XXIII. 1910.

расширяются благодаря уменьшению радиуса кривизны менисковъ и уменьшенію, вслѣдствіе этого, силы, стягивающей края поръ. Уменьшеніе радиуса кривизны менисковъ слѣдуетъ изъ формулы Томсона $lg \frac{f}{F} = \frac{C}{r}$, гдѣ f = упругость паровъ воздуха, F = упругость насыщеннаго пара при температурѣ воздуха, f/F относительная влажность, r = радиусъ кривизны мениска. (Замѣтимъ, кстати, что на этой формулѣ основывается законъ удлиненія и укороченія гигрометрическаго волоса, найденный Срезневскимъ. Длина волоса обусловливается расширеніемъ и сжатіемъ небольшихъ менисковъ воды въ его порахъ). Хотя намъ кажется, что въ случаѣ испаренія листьевъ этотъ законъ перестаетъ быть строго вѣрнымъ, ибо онъ относится къ случаю равновѣсія пара, т. е. отсутствія испаренія и во вторыхъ, онъ предполагаетъ постоянство температуры, между тѣмъ, какъ температура листа обыкновенно не равна температурѣ воздуха; однако, характеръ явленія остается тотъ же.

Исходя изъ указанныхъ соображеній, Срезневскій, кладя въ основу испаренія законъ Дальтона: $E = D(F - f)$, полагаетъ, что коэффициентъ D (или $\frac{E}{F - f}$) будетъ постояннымъ только при постоянной относительной влажности, съ возрастаніемъ же послѣдней увеличивается, т. е. испареніе, приходящееся на 1 mm недостатка насыщенія, или быстрота испаренія, будетъ при большой относительной влажности больше, чѣмъ при малой, благодаря увеличенной въ первомъ случаѣ поверхности испаренія. Заключение это онъ подтверждаетъ какъ собственными, такъ и опытами другихъ авторовъ. Замѣтимъ, что хорошую иллюстрацію указанной закономерности даютъ опыты Тольскаго¹⁾ надъ испареніемъ сосновыхъ сѣянцевъ. Изъ наблюдений 1909 г. (отъ 12^h до 13^h) съ отдѣльными деревцами Тольскій составилъ слѣдующую таблицу:

относительная влажность	$\frac{E}{F - f}$
отъ 16—20 0/0	0,60 (3 наблюденія)
„ 21—30	0,81 (17 „)
„ 31—40	0,96 (24 „)

1) Тольскій. I. с.

относительная влажность	E
	$F-f$
отъ 41—50	1,40 (18 наблюдений)
„ 51—60	1,89 (9 „)
„ 61—70	1,36 (8 „)
„ 71—80	1,36 (5 „)
„ 81—90	1,72 (4 „)

Мы видимъ, что, согласно съ вышеизложенной теоріей, испареніе, приходящееся на 1 mm недостатка насыщения въ общемъ возрастаетъ съ возрастаніемъ относительной влажности. Нѣкоторыя неправильности при этомъ, быть можетъ, объясняются недостаточнымъ числомъ и неточностью опытовъ.

Транспирація листьевъ, какъ извѣстно, совершается двумя путями: изъ устьицъ и черезъ кутикулу. Въ общемъ, однако, испареніе черезъ устьица является далеко преобладающимъ. Согласно Haberlandt'у (см. Burgerstein l. c.), напр., кутикулярная транспирація у *Aesculus Hippocastanum* составляетъ приблизительно лишь $\frac{1}{76}$ всей транспираціи; у *Corylus Avelana* — $\frac{1}{81}$; у *Pirus communis* — $\frac{1}{11}$. Исключеніе составляютъ молодыя листья, у которыхъ происходитъ только кутикулярная транспирація; благодаря тонкости кутикулы транспирація въ это время весьма значительна, такъ что испареніе съ единицы поверхности, согласно Ноеhnel'ю, въ это время достигаетъ maximum'a. (Съ развитіемъ листа кутикула утолщается и кутикулярное испареніе падаетъ; зато усиливается испареніе черезъ устья; общее же испареніе нѣсколько уменьшается. Въ вполне развитомъ листѣ испареніе черезъ устьица достигаетъ максимума, и вмѣстѣ съ тѣмъ общее испареніе съ единицы поверхности достигаетъ второй, но меньшей перваго максимума). Интересно, что по наблюденіямъ Stahl'я¹⁾ устьица многихъ растений наиболѣе расширяются при большой влажности (и солнечномъ свѣтѣ).

Въ связи съ вышеизложеннымъ, коснемся еще вопроса объ испареніи растений въ насыщенномъ парами воздухѣ. Мы видѣли (см. Введеніе), что испареніе воды возможно и при насыщенномъ воздухѣ, въ томъ случаѣ, если температура воды выше температуры воздуха. То же самое, очевидно, относится и къ растеніямъ; при большой влажности

1) Stahl. Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. Bot. Ztg. Bd. LII. 1894. p. 117 см. Burgerstein. Transpiration der Pflanzen. p. 122.

и солнечномъ свѣтѣ, какъ мы видѣли, устьяца сильно расширены; вмѣстѣ съ тѣмъ благодаря инсоляціи температура листьевъ можетъ быть замѣтно выше t^0 воздуха. Поэтому при интенсивной инсоляціи можетъ происходить значительное испареніе и въ насыщенномъ воздухѣ, что подтвердилось опытами Wiesner'a и другихъ. При отсутствіи же свѣта, какъ прямого солнечнаго, такъ и диффузнаго, испареніе въ насыщенномъ воздухѣ можетъ быть лишь минимальнымъ, ибо въ этомъ случаѣ источникомъ теплоты для испаренія могутъ служить лишь процессы окисленія, при которыхъ развивается количество теплоты ничтожное, по сравненію съ теплотой, идущей на испареніе.

Скажемъ еще нѣсколько словъ объ отношеніи испаренія растительнаго покрова къ испаренію свободной водной поверхности. Что касается испаренія растительнаго покрова, то нужно различать между возможнымъ максимумомъ испаренія, при данныхъ климатическихъ условіяхъ, которое имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, если почва постоянно поддерживается влажною, и дѣйствительною величиною испаренія, происходящаго въ природѣ, и который обыкновенно значительно ниже указаннаго максимума, вслѣдствіе того что влажность почвы часто является сильно пониженной.

Что касается возможнаго максимума испаренія растительнаго покрова, то нужно думать, что онъ въ общемъ значительно больше испаренія свободной водной поверхности, находящейся при тѣхъ же условіяхъ. Это доказано опытами различныхъ авторовъ (Шюблера, Meister'a, Мазюра и др., см. Локоть „Влажность почвы“. Конечно, изъ того, что мы выше видѣли, само собою ясно, что рассматриваемое отношеніе можетъ мѣняться въ весьма широкихъ предѣлахъ, въ зависимости отъ рода растительнаго покрова и другихъ условій. Что оно можетъ быть подчасъ весьма значительнымъ, видно, напр., изъ слѣдующаго примѣра: по опыту Шюблера, почва, засѣянная Роа аппца, испаряла лѣтомъ 1826 г. (въ тѣни!), отъ 28 іюля до 7-го августа до 3,61 раза больше, чѣмъ свободная водная поверхность¹⁾. Усиленное испареніе растительнаго покрова становится понятнымъ, если принять во вниманіе его огромную испаряющую поверхность. Если же сравнивать испареніе съ единицы поверхности отдѣльнаго

1) Локоть I. с. р. 159.

листа и водной поверхности, то оказывается, что водная поверхность въ общемъ испаряетъ несравненно больше¹⁾.

Испареніе растительнаго покрова при естественныхъ условіяхъ сильно зависитъ отъ количества получаемыхъ имъ осадковъ, увеличиваясь (до максимальной величины) съ возрастаніемъ количества осадковъ; вслѣдствіе этого и отношеніе испаренія съ его поверхности къ испаренію водной поверхности непостоянно, и можетъ, въ зависимости отъ осадковъ сильно мѣняться изъ года въ годъ. Хорошей иллюстраціей сказаннаго являются величины испаренія дерна (среднее изъ данныхъ 3-хъ различныхъ лизиметровъ) и свободной водной поверхности (плавучій эвапорометръ на рѣчкѣ Ли), вычисленные проф. Людеке на основаніи опытовъ въ Англіи при различныхъ количествахъ осадковъ.

Осадки	500	600	700	800 mm	
Испареніе {	Почвы съ травой	386	437	484	538 „
	Водная поверхн.	534	528	522	516 „

Мы видимъ, что испареніе почвы съ травой возрастаетъ съ увеличеніемъ количества осадковъ, въ то время какъ испареніе свободной водной поверхности съ возрастаніемъ осадковъ уменьшается. Такимъ образомъ при маломъ количествѣ осадковъ преобладаетъ испареніе съ водной поверхности, при большомъ испареніе съ растительнаго покрова. Другой весьма поучительный примѣръ соотношенія между испареніемъ растительнаго покрова и свободной водной поверхности, относящійся къ тропическому климату, мы находимъ въ статьѣ Merz'a: Beiträge zur Klimatologie und Hydrographie Mittelamerikas (Mitt. Ver. f. Erdkunde. Leipzig, 1907). По Merz'у испареніе озеръ Nicaragua и Managua (опредѣленное при помощи плавучихъ эвапорометровъ) равно соотвѣтственно 1309 mm и 1575 mm; испареніе же съ поверхности водосборной площади этихъ озеръ равно 1110 mm, т. е. нѣсколько меньше. Однако эта величина значительно ниже возможнаго максимума испаренія съ поверхности суши, вслѣдствіе существованія періода засухи въ году въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ (январь — апрѣль). Въ теченіе этихъ 4-хъ мѣсяцевъ осадковъ выпадаетъ всего 77 mm (въ году 1816 mm) вслѣдствіе чего дѣйствительное испареніе сильно понижено и врядъ-ли значительно больше количества осадковъ (т. е. 77 mm),

1) См. Людеке. Сельско-хозяйственная метеорологія р. 222.

такъ какъ во время засухи растительная жизнь замираетъ. Испареніе же съ поверхности озеръ въ періодъ засухи составляетъ 491 mm (Nicaragua) resp. 504 mm (Managua) или 37% resp. 32% годовой суммы. Зато въ остальное болѣе дождливое время года испареніе съ озеръ равно всего 818 (resp. 1071) mm; съ суши же испаряется приблизительно 1123 mm (= 1100 — 77), и нѣтъ сомнѣнія, что особенно въ началѣ дождливаго періода, при быстромъ развитіи пышной растительности, и когда влажность воздуха еще не достигла максимума, испареніе съ суши далеко превосходитъ испареніе съ поверхности озеръ.

Если мы сравниваемъ дѣйствительное испареніе съ испаряемостью, измѣренной показаніемъ эвапорометра Вильда, то, очевидно, дѣйствительное испареніе будетъ ниже испаряемости, въ тѣхъ странахъ, въ которыхъ средняя годовая величина испаряемости выше количества осадковъ, ибо испареніе съ поверхности обширныхъ странъ въ среднемъ не можетъ быть выше количества осадковъ. Въ Россіи разница между испаряемостью и дѣйствительнымъ испареніемъ увеличивается по направленію къ юго-востоку, (т. к. въ этомъ направленіи возрастаетъ испаряемость и уменьшается количество осадковъ) и достигаетъ максимума въ средней Азіи, гдѣ испаряемость въ нѣсколько разъ превосходитъ количество осадковъ (напр. въ Султанъ Бендѣ испаряемость = 2764 mm, количество осадковъ = 176 mm) (см. Britzke über den jährlichen Gang d. Verd. in Russland. Rep. Meteor. Bd. XVII. № 10).

Что касается областей, въ которыхъ испаряемость меньше количества осадковъ, относящихся главнымъ образомъ къ сѣверу-западу Россіи, то какъ мы видѣли изъ опытовъ въ Павловскѣ годовое испареніе растительнаго покрова можетъ быть значительно больше испаряемости (по крайней мѣрѣ это относится къ изслѣдуемымъ образцамъ дерна).

Глава V (продолженіе).

Роль растительнаго покрова.

В. Вліяніе на осадки и стокъ.

Обращаясь къ разбору вопроса о вліяніи растительнаго покрова на стокъ, замѣтимъ прежде всего, что необходимо

строго различать 2 стороны вопроса: 1) влияние на среднюю годовую величину стока и 2) регулирующее влияние, если подъ этимъ терминомъ понимать влияние на годовой ходъ стока и влияние на паводки. Очевидно, это двѣ вещи разныя, ибо влияние на годовой ходъ стока можетъ происходить независимо отъ замѣтнаго влияния на годовую величину стока. Остановимся сначала на влиянии растительнаго покрова на среднюю годовую величину стока.

Средняя годовая величина стока опредѣляется, какъ мы видѣли, разностью между количествомъ осадковъ и величиною испаренія. Значитъ всякій факторъ, увеличивающій величину испаренія съ поверхности бассейна, при постоянномъ количествѣ осадковъ, уменьшаетъ величину стока. Если же вмѣстѣ съ тѣмъ происходитъ также измѣненіе годовой величины осадковъ, то окончательно воздѣйствіе даннаго фактора на величину стока зависитъ отъ разности между увеличеніемъ осадковъ и увеличеніемъ испаренія. Результаты предыдущей главы, показавшіе преобладаніе испаренія растительнаго покрова надъ испареніемъ голой почвы, говорятъ въ пользу уменьшенія стока даннаго бассейна подъ влияніемъ растительнаго покрова, если сравнить его съ голою почвою; точно также можно ожидать на основаніи предыдущаго, что при прочихъ равныхъ условіяхъ, стокъ съ поверхности бассейна покрытаго лѣсомъ будетъ меньше, чѣмъ съ бассейна съ другимъ видомъ растительности. Однако эти заключенія нельзя считать доказанными, пока мы еще не разсмотрѣли вопроса о влиянии растительнаго покрова, и въ частности лѣса, на величину осадковъ. Поэтому мы должны, хотя лишь вкратцѣ разсмотрѣть и этотъ вопросъ.

Едва ли во всей метеорологіи существуетъ другой вопросъ, обладающій такой громадной литературой и настолько привлекавшій вниманіе и не специалистовъ, какъ вопросъ о влиянии лѣса на количество осадковъ и объ общей гидрологической роли его. Разборъ вопроса особенно затруднялся тѣмъ, что не всегда отчетливо различались различныя стороны вопроса. Обыкновенно вопросъ о влиянии лѣса на количество осадковъ разбирался въ связи съ вопросомъ о влиянии лѣса на стокъ, причеиъ предполагалось, что положительному влиянію лѣса на количество осадковъ должно соответствовать также положительное влияние на стокъ. Вышеприведенная формула: $\text{стокъ} = \text{осадки} - \text{испареніе}$, пока-

зываетъ, что второе вовсе не является необходимымъ слѣдствіемъ перваго, и мы дѣйствительно увидимъ, что, съ извѣстной точки зрѣнія, лѣсъ увеличиваетъ количество осадковъ, не увеличивая величины стока.

При разборѣ вопроса о вліяніи лѣса на количество осадковъ нужно различать, какъ на это указываетъ, между прочимъ, Высоцкій. (см. Лѣсной ж. 1911 вып. 1—2) между мѣстнымъ вліяніемъ лѣса, получающимся при сравненіи осадковъ въ лѣсу съ осадками окружающаго поля и вліяніемъ, происходящимъ отъ испаренія лѣса и сказывающимся на количествѣ осадковъ не специально окружающей мѣстности, а цѣлой страны или материка.

Изслѣдованія надъ вліяніемъ лѣса на осадки основываются на наблюденіяхъ станцій, расположенныхъ въ лѣсу и въ сосѣднемъ полѣ. Очевидно, что такія наблюденія могутъ обнаружить только мѣстное вліяніе лѣса. Что касается результатовъ, добытыхъ такимъ путемъ, то по крайней мѣрѣ въ первое время, какъ въ Западной Европѣ, такъ и въ Россіи выводы сводились къ тому, что въ лѣсу выпадаетъ значительно большее количество осадковъ, чѣмъ въ полѣ. Однако болѣе тщательныя наблюденія показали, что увеличеніе осадковъ въ лѣсу главнымъ образомъ обязано лучшей защитѣ дождемѣровъ отъ вѣтра въ лѣсу. Съ этимъ хорошо согласуется то обстоятельство, что указанное увеличеніе осадковъ особенно замѣтно въ зимніе мѣсяцы, что можно объяснить тѣмъ, что осадки въ видѣ снѣга легче выдуваются вѣтромъ изъ незащищенныхъ дождемѣровъ въ полѣ, чѣмъ осадки въ жидкомъ состояніи. Одною изъ наиболѣе важныхъ работъ, на которыхъ основывается почти общепринятое въ настоящее время мнѣніе о незначительности мѣстнаго вліянія лѣсовъ на осадки, являются изслѣдованія *Natberg'a* о климатической роли лѣсовъ въ Швеціи. *Natberg* на основаніи весьма тщательныхъ изслѣдованій приходитъ къ заключенію, что въ Швеціи мѣстное вліяніе лѣсовъ весьма незначительно: увеличенію площади, покрытой лѣсами на 10⁰/₀, соотвѣтствовало бы, по его мнѣнію, увеличеніе количества осадковъ всего на 1,7⁰/₀. *Schubert*¹⁾ приходитъ на основаніи картъ осадковъ *Hellman'a* и лѣсной статистики

1) См. *Wald und Niederschlag in Westpreussen 1905. Wald und Niederschläge in Schlesien. M. Z. 1905.* Переводъ въ Лѣсномъ ж. 1907.

къ заключенію, что увеличенію лѣса на 10⁰/₀ всей площади Зап. Пруссіи и Познани соотвѣтствовало бы увеличеніе осадковъ на менѣе, чѣмъ 12 мм или 2⁰/₀. Между тѣмъ повышенію мѣстности на 100 метровъ соотвѣтствуетъ увеличеніе осадковъ на 65 мм (или 12⁰/₀). Для Силезіи аналогичныя числа равны 8 мм или 1⁰/₀ и 57 мм или 8⁰/₀. Разница въ осадкахъ въ лѣсистой и безлѣсной мѣстности въ Зап. Пруссіи и Познани заключается между 2⁰/₀ и 10⁰/₀, въ Силезіи — между 2⁰/₀ и 6⁰/₀. Все это относится однако, собственно говоря, не къ разницѣ въ величинѣ осадковъ, а къ разницѣ въ показаніяхъ дождемѣровъ въ лѣсной и безлѣсной области. Принимая (конечно нѣсколько произвольно), что изъ найденной величины половина приходится на вліяніе защиты дождемѣровъ отъ вѣтра въ лѣсу, Шубертъ приходитъ къ заключенію, что разница въ количествѣ осадковъ лѣсной и безлѣсной мѣстности въ Силезіи равна 25 мм, величинѣ весьма ничтожной по сравненію со среднимъ годовымъ количествомъ осадковъ, равнымъ 660 мм.

Что касается американскихъ работъ, то, замѣтимъ, что проф. Cleveland Abbe считаетъ отсутствіе какого-либо вліянія лѣса на осадки до того безспорнымъ, что по его мнѣнію всякая полемика по этому вопросу излишня. (In this day and generation, the idea that forests either increase or diminish the quantity of rain that falls from the clouds is no worthy to be entertained by rational, intelligent men¹⁾).

Однако, въ извѣстныхъ случаяхъ вполне возможно, и даже вѣроятно мѣстное вліяніе лѣса или вообще растительнаго покрова. Сравнимъ для этого 2 мѣстности въ жаркое лѣтнее время, примѣрно на югѣ Россіи, одну покрытую растительнымъ покровомъ, другую лишенную растительности. Оказывается, что при интенсивномъ солнечномъ освѣщеніи воздухъ надъ почвой, непокрытой растительностью, нагрѣвается значительно выше, и отн. влажность его замѣтно понижается по сравненію съ воздухомъ надъ растительнымъ покровомъ. Шенбергъ даетъ напр. слѣдующія величины температуры и влажности, опредѣленныя лѣтомъ 1906 г. въ Новоузенскомъ краѣ (южная часть Симб. губ.) (см. Труды Общ. Землевѣдѣнія 1906 г. 82).

1) См. W. Moore Report on the influence of forests etc. 1910. p. 7.

А) Густое овсяное поле при слабомъ южномъ вѣтрѣ :

	Въ 10 ч. утра.		Въ 4 ч. дня	
	Отн. вл.	Абс. вл.	Отн. вл.	Абс. вл.
1) на высотѣ 1 см надъ почвою	68 ⁰ / ₁₀₀	14,4 мм	62 ⁰ / ₁₀₀	12,9 мм
1) " " 1/2 м " "	38 ⁰ / ₁₀₀	10,9 " "	27 ⁰ / ₁₀₀	7,8 " "
3) " " 1 м " "	32 ⁰ / ₁₀₀	9,4 " "	22 ⁰ / ₁₀₀	7,0 " "
4) " " 1 1/2 м " "	29 ⁰ / ₁₀₀	9,0 " "	21 ⁰ / ₁₀₀	6,9 " "

В) Надъ вспаханнѣмъ полемъ съ свѣтло-каштановой сухой почвой въ 50-ти шагахъ отъ предыдущаго мѣста наблюденія.

	Въ 10 ч. утра		Въ 4 ч. дня.	
	Отн. вл.	Абс. вл.	Отн. вл.	Абс. вл.
1) на высотѣ 1 см надъ почвою	20 ⁰ / ₁₀₀	7,3 мм	11 ⁰ / ₁₀₀	4,9 мм
2) " " 1/2 м " "	28 ⁰ / ₁₀₀	5,4 " "	15 ⁰ / ₁₀₀	5,8 " "
3) " " 1 м " "	26 ⁰ / ₁₀₀	7,5 " "	15 ⁰ / ₁₀₀	5,7 " "
4) " " 1 1/2 м " "	25 ⁰ / ₁₀₀	7,5 " "	15 ⁰ / ₁₀₀	5,6 " "

Мы видимъ, что разница во влажности воздуха непосредственно надъ почвою можетъ доходить до 51⁰/₁₀₀ или 8 мм. Конечно съ увеличеніемъ высоты разница быстро падаетъ, какъ это и не можетъ быть иначе при такомъ незначительномъ разстояніи обоихъ пунктовъ наблюденія. Можно думать, что такія значительныя разности въ гигрометрическомъ состояніи воздуха подчасъ въ состояніи оказать вліяніе на выпаденіе осадковъ. Какъ извѣстно, при образованіи осадковъ большую роль играютъ восходящіе токи воздуха, охлаждающіеся при поднятіи до температуры сгущенія паровъ. Очевидно, что въ разсматриваемомъ случаѣ воздухъ надъ растительнымъ покровомъ легче можетъ быть доведенъ до степени насыщенія, чѣмъ воздухъ надъ голою почвою. Конечно разницы въ количествѣ осадковъ, вызываемыя указанною причиною могутъ наблюдаться только если имѣются весьма значительныя площади, лишенныя растительности; при небольшихъ площадяхъ, благодаря непрерывному смѣшенію сосѣднихъ слоевъ воздуха въ болѣе высокыхъ слояхъ воздуха, въ которыхъ происходитъ образованіе дождя, вліяніе голой почвы было бы уже незамѣтно. Нѣкоторое указаніе на дѣйствительное существованіе разсматриваемаго мѣстнаго вліянія растительнаго покрова даютъ изслѣдованія Клингена¹⁾. Такую же роль въ образованіи осадковъ Непруг²⁾ приписы-

1) См. М. В. 1893.

2) См. Лѣса и осадки. Почвовѣдніе 1906. р. 180.

ваеѣ лѣсамъ на горныхъ склонахъ въ болѣ теплыхъ климатахъ. Какъ извѣстно, по мнѣнію Angot, даже горныя цѣпи не въ состояніи вызвать осадковъ въ восходящихъ по ихъ склонамъ воздушныхъ теченіяхъ (даже приходящихъ съ моря) въ томъ случаѣ, если ихъ склоны слишкомъ сильно нагрѣты, какъ это наблюдается, напр., на лишенныхъ растительности горныхъ склонахъ Испаніи и Алжира. Непгу полагаеѣтъ, что облѣсѣніе такихъ горныхъ склоновъ, защищающее ихъ отъ чрезмѣрнаго нагрѣванія, сильно способствовало бы образованію осадковъ. — Помимо разсмотрѣннаго всеѣтаки нѣсколько проблематичнаго мѣстнаго вліянія растительнаго покрова, безъ сомнѣнія существуетъ весьма замѣтное вліяніе его, если имѣѣтъ въ виду осадки и растительный покровъ большихъ областей, напр., цѣлыхъ материковъ или всей суши. Какъ мы ниже увидимъ, осадки всей суши лишь отчасти происходятъ отъ конденсаціи паровъ непосредственно испарившихся съ океана. По Брикнеру около $\frac{2}{3}$ осадковъ суши происходятъ благодаря конденсаціи паровъ, испарившихся съ суши же; и въ общемъ можно приблизительно полагать, что количество осадковъ суши равно количеству паровъ принесенныхъ съ океана + количество паровъ, испарившихся съ поверхности суши. (см. гл. IX).

(На самомъ дѣлѣ оно нѣсколько меньше разсматриваемой суммы, вслѣдствіе того, что часть паровъ суши уносится на океанъ. Но эта часть незначительна, вслѣдствіе того, что въ теплое время года, когда происходитъ максимальное испареніе суши, преобладаютъ вѣтры, дующіе съ океана насушу).

Въ предыдущей главѣ мы видѣли, что растительный покровъ, безъ сомнѣнія, замѣтно увеличиваетъ испареніе съ суши; на основаніи предыдущаго мы должны заключить, что онъ въ томъ же отношеніи увеличиваетъ и количество осадковъ суши. Изъ всѣхъ видовъ растительнаго покрова что касается испаренія на первомъ мѣстѣ стоитъ лѣсъ; поэтому и съ точки зрѣнія вліянія на осадки мы должны приписать лѣсу первенствующую роль. Такимъ образомъ подтверждается мнѣніе, высказанное Hamberg'омъ, что лѣсъ, несмотря на то, что мѣстное вліяніе его на осадки едва замѣтно, всеѣтаки играетъ важную роль въ образованіи осадковъ всей суши. Отсутствіе мѣстнаго вліянія, очевидно, объясняется тѣмъ, что влага, испаряемая лѣсомъ, не осаж-

дается опять на площади имъ занимаемой, а уносится вѣтрами, способствуя общему увлажненію воздуха надъ сушею.

Особенно важнымъ является испареніе съ суши въ томъ отношеніи, что оно способствуетъ проникновенію влаги во внутреннія части суши, куда лишь въ незначительномъ количествѣ доходятъ непосредственныя испаренія океана и гдѣ главная часть осадковъ континентальнаго происхожденія. Въ связи съ этимъ вопросомъ необходимо указать на интересную работу В. С. Соцкого¹⁾, въ которой авторъ указываетъ на важную роль лѣсовъ западной и сѣверо-западной Россіи, испаренія которыхъ уносятся преобладающими въ это время года западными и сѣверо-западными вѣтрами въ центральную и южную Россію, увеличивая количество осадковъ въ этихъ областяхъ.

Возвращаясь къ вопросу о вліяніи растительнаго покрова и въ частности лѣса на абсолютную величину стока, легко видѣть на основаніи предыдущаго, что это вліяніе можетъ быть только отрицательнымъ. Если разсматриваемъ напр. небольшой бассейнъ, то лѣсъ этого бассейна, хотя и будетъ способствовать увеличенію количества осадковъ цѣлой страны или всего материка, но ввиду того, что вліяніе это распредѣляется по такой большой поверхности, оно въ частности для даннаго бассейна будетъ ничтожно. Наоборотъ, испареніе съ поверхности бассейна можетъ замѣтно увеличиться подъ вліяніемъ лѣса; тогда изъ формулы стокъ = осадки — испареніе слѣдуетъ, что стокъ подъ вліяніемъ лѣса уменьшается.

Если разсматривать цѣлый материкъ, то какъ мы видѣли, общее вліяніе на осадки всего растительнаго покрова или лѣса можетъ быть весьма замѣтно. Но легко видѣть, что и въ данномъ случаѣ не происходитъ увеличенія стока. Дѣйствительно, стокъ съ суши въ океанъ равняется количеству пара, приходящаго съ океана на сушу минусъ количество пара, уходящаго съ суши на океанъ. Очевидно, что растительный покровъ или лѣсъ на первую величину замѣтнаго вліянія не имѣетъ. Скорѣе онъ можетъ вліять на вторую величину, увеличивая ее, ибо, очевидно, количество пара уносимаго вѣтрами съ суши на океанъ тѣмъ больше, чѣмъ силь-

1) В. С. Соцкий. О гидроклиматическомъ значеніи лѣсовъ для Россіи. Лѣсной журналъ. 1911. Вып. 1—2.

нѣ испареніе на сушѣ и, слѣд., чѣмъ влажнѣе воздухъ надъ сушей. Такимъ образомъ и при разсматриваніи стока всей суши нужно придти къ заключенію, что растительный покровъ и на первомъ мѣстѣ лѣсъ, уменьшаютъ абсолютную величину стока, хотя вѣроятно не значительно.

Болѣе замѣтнымъ должно быть вліяніе всего растительнаго покрова на распредѣленіе стока по сушѣ. Мы выше видѣли, что растительный покровъ способствуетъ проникновенію осадковъ вглубь материковъ. Очевидно, поэтому, что центральныя части материковъ безъ этого вліянія были бы болѣе бѣдны осадками и вслѣдствіе этого на значительно большемъ протяженіи безсточны, чѣмъ въ дѣйствительности. Поэтому нужно полагать, что подъ вліяніемъ испаренія всего растительнаго покрова увеличивается стокъ съ центральныхъ областей суши. Соотвѣтственно этому долженъ, конечно, уменьшиться стокъ съ болѣе окраинныхъ частей.

Обращаясь къ разсмотрѣнію вопроса о регулирующемъ вліяніи лѣса на стокъ, разсмотримъ отдѣльно 2 стороны этого вопроса, хотя онѣ и находятся въ извѣстной связи другъ съ другомъ, а именно вліяніе лѣса на грунтовое питаніе рѣки и вліяніе его на наводки.

Что касается вліянія лѣса на грунтовое питаніе, то оно находится въ зависимости отъ взаимодействія слѣдующихъ 4-хъ причинъ: 1) болѣе сильное испареніе почвенной влаги лѣсомъ, 2) задерживаніе осадковъ кронами деревьевъ, 3) замедленіе поверхностнаго стока, 4) замедленіе таянія снѣга.

О болѣе сильномъ испареніи почвенной влаги лѣсомъ мы уже выше говорили; очевидно, что оно стремится понизить питаніе грунтовыхъ водъ.

Въ томъ же смыслѣ конечно дѣйствуетъ и задерживаніе осадковъ кронами деревьевъ въ лѣсу, вслѣдствіе чего въ общемъ лѣсная почва получаетъ меньше осадковъ, чѣмъ поле. Что касается количественной стороны указаннаго явленія, то очевидно, оно зависитъ отъ такого множества разнообразныхъ факторовъ, что невозможно дать какія-нибудь числа, имѣющія общее значеніе. Приводимъ лишь нѣкоторые опыты, показывающіе что задерживаніе осадковъ кронами деревьевъ, является во всякомъ случаѣ факторомъ, которымъ нельзя пренебречь. Такъ Эбермайеръ нашель, что кронами деревьевъ задерживается до 28 % Riegler,

который между прочимъ указалъ на то, что не все количество осадковъ, задержанныхъ листвою, нужно считать потеряннымъ для лѣсной почвы, ибо часть ихъ стекаетъ по стволу деревьевъ, нашелъ слѣдующія числа, показывающія различное вліяніе различныхъ породъ деревьевъ: для бука потеря равна 21,8 ‰, для дуба 20,7 ‰; для клена — 22,3 ‰; для ели — 58,8 ‰. Эти числа относятся къ отдѣльнымъ хорошо развитымъ деревьямъ. Для цѣлаго лѣса съ болѣе если менѣе обширными полянами соотвѣтствующей ‰ замѣтно понижается.

Замѣтимъ, что на величину задержанной части осадковъ помимо породы деревьевъ, густоты древостоя и т. д. еще одно обстоятельство имѣетъ важное вліяніе, а именно испаряемость климата. Очевидно, что чѣмъ больше испаряемость климата, тѣмъ быстрѣе испаряются осадки, задержанные кронами деревьевъ, и тѣмъ меньшая часть ихъ можетъ достигнуть почвы. Слабымъ испареніемъ въ теченіи зимы Охлябининъ¹⁾ объясняетъ наблюденный имъ фактъ, что кронами соснового лѣса изъ осадковъ, выпавшихъ въ видѣ снѣга, задерживалось всего 15,9 ‰, изъ дождя же — 28,6 ‰.

Дѣйствіе 2-хъ другихъ изъ поименованныхъ факторовъ на грунтовое питаніе рѣки противоположно дѣйствию 2-хъ первыхъ. Какъ извѣстно всякому, лѣсная почва, представляющая на поверхности безчисленныя препятствія свободному стоку воды, дѣйствуетъ замедляющимъ образомъ на поверхностный стокъ. Такъ какъ однако, чѣмъ медленнѣе совершается стокъ воды, тѣмъ болѣе просачиваніе, то очевидно съ замедленіемъ поверхностнаго стока сопряжено уменьшеніе его и усиленіе грунтоваго питанія.

Общеизвѣстнымъ фактомъ является также замедленіе таянія снѣга въ лѣсу. Замедленіе это въ общемъ весьма замѣтно и нерѣдко удлиняетъ процессъ таянія въ лѣсу на цѣлый мѣсяць или даже болѣе, по сравненію съ полемъ (см. напр. Тольскій²⁾). Не вдаваясь въ болѣе подробное разсмотрѣніе этого вопроса, которое благодаря чрезвычайной измѣнчивости разсматриваемаго явленія, не давало бы общеприложимыхъ данныхъ, укажу лишь на интересное объясне-

1) Охлябининъ. Къ вопросу о вліяніи лѣса на климатъ. Зан. И. Р. Г. О. по общ. геогр. т. 47.

2) Къ вопросу о снѣжномъ покровѣ въ лѣсу и на полѣ М. В. 1904 р. 144—149.

ніе замедленія таянія въ лѣсу, данное Воейковымъ¹⁾. По мнѣнію Воейкова, главнымъ факторомъ при таяніи снѣга является не инсоляція, а влажный теплый воздухъ, влага котораго, осаждаясь на болѣе холодномъ снѣгѣ сильно ускоряетъ процессъ таянія. Согласно съ этимъ, замедленіе таянія снѣга въ лѣсу, замѣтное и на полянахъ, происходитъ не столько отъ защиты отъ солнечныхъ лучей (отсутствующей на полянахъ), сколько отъ уменьшенной циркуляціи воздуха и затрудненнаго доступа влажныхъ, теплыхъ вѣтровъ, вызывающихъ, какъ мы видѣли, наиболѣе быстрое таяніе. Очевидно, что болѣе медленное таяніе снѣга въ лѣсу, въ связи съ меньшею мерзлостью почвы, способствуетъ болѣе обильному просачиванію воды въ почву подъ лѣсомъ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что изъ вышеприведенныхъ для лѣса 4-хъ факторовъ первые два (усиленное испареніе почвенной влаги и задерживаніе осадковъ) стремятся уменьшить грунтовое питаніе рѣки, 2 послѣднихъ фактора (замедленіе поверхностнаго стока и таяніе снѣга) — наоборотъ, увеличить его. Очевидно, что характеръ вліянія лѣса на грунтовое питаніе рѣки будетъ зависѣть отъ того, преобладаетъ ли дѣйствіе первыхъ или вторыхъ факторовъ. Повидимому въ природѣ встрѣчается и то, и другое. Преобладающаго вліянія испаренія, уменьшающаго грунтовое питаніе, мы можемъ ожидать въ равнинныхъ и болѣе или менѣе сухихъ странахъ съ незначительнымъ поверхностнымъ стокомъ; факторы же второго рода, увеличивающіе грунтовое питаніе, будутъ преобладать въ областяхъ обильно орошаемыхъ, съ значительнымъ поверхностнымъ стокомъ, напр., на горныхъ склонахъ. Какъ мы видѣли въ предыдущемъ отдѣлѣ, эти заключенія вполне подтверждаются наблюденіями. Наблюденія Отцкаго и другихъ доказываютъ уменьшеніе питанія грунтовыхъ водъ въ равнинныхъ странахъ съ незначительнымъ поверхностнымъ стокомъ, между тѣмъ какъ опыты Эбермайера и Гартмана подтверждаютъ болѣе обильное питаніе грунтовыхъ водъ подъ лѣсомъ на горныхъ склонахъ.

Въ связи съ разобраннмъ вопросомъ о питаніи грунтовыхъ водъ, находится и вопросъ о вліяніи лѣса на питаніе

1) См. Воейковъ: „Къ вопросу о половодѣ 1908 г.“ М. В. 1908, а также Любославскій: „Энергія оттеплен“ М. В. 1902. стр. 83.

источниковъ и на меженнее питаніе рѣки, ибо оба эти явленія находятся въ зависимости отъ режима грунтовыхъ водъ. Очевидно, что мы на основаніи предыдущаго должны придти къ заключенію, что вліяніе лѣса на источники и на меженнее питаніе рѣки можетъ быть то положительнымъ, то отрицательнымъ, въ зависимости отъ вышеуказанныхъ условій. Это вполне согласуется съ выводами Оппокова объ отрицательномъ вліяніи лѣса на меженнее питаніе равнинныхъ рѣкъ. Упомянемъ еще выводы Нея¹⁾, также пришедшаго къ заключенію о различномъ вліяніи лѣса на источники, въ зависимости отъ внѣшнихъ условій. По мнѣнію Нея, лѣса въ Германіи, расположенные на наклонныхъ площадяхъ выше 400 м, получающіе количество осадковъ, равное приблизительно 739 мм, обладаютъ первостепеннымъ значеніемъ для питанія источниковъ, что вполне согласуется съ вышеприведенными заключеніями. Замѣтимъ, что возможность въ иныхъ случаяхъ положительнаго вліянія лѣса на грунтовое питаніе рѣки вовсе не противорѣчитъ установленному выше положенію объ уменьшеніи лѣсомъ годовой величины стока. Увеличеніе грунтового питанія происходитъ лишь на счетъ уменьшенія поверхностнаго стока.

Переходя далѣе къ разсмотрѣнію вліянія лѣса на паводки, замѣтимъ, что значеніе лѣса будетъ различное, смотря по тому, разсматриваемъ ли мы паводки весенніе, происходящіе отъ таянія снѣга или паводки отъ дождевой воды.

Благотворное вліяніе лѣса, уменьшающее интенсивность весеннихъ наводковъ, благодаря болѣе медленному таянію снѣга въ лѣсу, не можетъ подлежать сомнѣнію. Нерѣдко даже вслѣдствіе замедленія таянія снѣга въ лѣсу по сравненію съ полемъ, половодье распадается на 2 подъема воды, одно подъ вліяніемъ талыхъ водъ съ полей, другое подъ вліяніемъ таянія снѣга въ лѣсу. (См. Воейковъ „Климаты“, также Гольскій і. с.). Очевидно, что благодаря этому сила разлива уменьшается. Съ этимъ вполне согласуется указанный Оппоковымъ фактъ о значительно меньшей интенсивности весеннихъ половодій въ р. Припети, бассейнъ которой еще въ значительной степени покрытъ лѣсами и болотами, по сравненію съ Десною, бассейнъ которой бѣденъ лѣсами.

1) См. Неу. Der Wald und die Quellen. (Aus dem Walde 1894. Реф. М. В. 1895).

Что касается лѣтнихъ паводковъ, то роль лѣсовъ является менѣ выясненной, хотя и въ этомъ отношеніи вліяніе лѣса въ зависимости отъ различныхъ условій будетъ колебаться въ широкихъ предѣлахъ; въ общемъ, однако, надо думать, что роль его незначительна. Къ такому выводу можно придти, рассматривая различныя стороны вліянія лѣса на стокъ ливневыхъ водъ.

Выше мы видѣли, что кронами деревьевъ задерживается весьма значительный процентъ осадковъ, могущій превзойти даже половину всего количества ихъ. Нужно однако замѣтить, что эти числа относятся только къ среднему годовому количеству осадковъ; часть же, задерживаемая листвою при данномъ дождѣ въ сильнѣйшей степени зависитъ отъ интенсивности дождя. При очень слабыхъ осадкахъ задерживаніе осадковъ можетъ достигнуть 100%; съ увеличеніемъ силы дождя оно быстро уменьшается. Это вполнѣ подтверждается опытами Норре (Mitteilungen aus d. forstl. Versuchsw. Oesterr. 1896. См. Локоть: Влажность почвы р. 144).

При слабыхъ дождяхъ до 10 mm и болѣе значительныхъ отъ 10—20 mm получались слѣдующіе $\%$ $\%$ задержанной воды:

		до 10 mm	10—20 mm
60-лѣтняя ель	1894 г.	63 $\%$	39 $\%$
65 „	сосна 1895 г.	42	24
88 „	букъ 1894 г.	30	17
84 „	„ 1895 г.	32	19

Мы видимъ, что уже при этомъ сравнительно небольшомъ увеличеніи силы дождя процентъ задержанной воды уменьшается почти вдвое. Нѣтъ никакого сомнѣнія, что при ливняхъ значительной силы, вызывающихъ паводки, онъ будетъ совершенно ничтоженъ. Такимъ образомъ мы видимъ, что задерживаніе осадковъ кронами деревьевъ въ вопросѣ о вліяніи лѣса на паводки роли играть не можетъ.

Выше мы видѣли, что благодаря задерживанію поверхностнаго стока и находящемуся въ связи съ этимъ впитыванію воды въ почву, лѣсъ уменьшаетъ поверхностный стокъ. Однако и это вліяніе лѣса, весьма замѣтное при незначительныхъ осадкахъ, при осадкахъ исключительной силы играетъ въ общемъ небольшую роль, ибо и впитываніе въ почву не можетъ итти дальше извѣстнаго предѣла. При этомъ важно замѣтить, что обыкновенно, для наступленія поверх-

носнаго стока по лѣсной почвѣ нѣтъ даже необходимости въ полномъ насыщеніи всей почвы подъ лѣсомъ; въ общемъ достаточно уже насыщеніе перегнойнаго покрова, который въ насыщенномъ состояніи становится слабо водопроницаемымъ и затрудняетъ дальнѣйшее просачиваніе въ почву. Вышеприведенныя соображенія, какъ видно, въ общемъ говорятъ противъ значительной роли лѣса при паводкахъ. Приведемъ въ подтвержденіе цифровыя выкладки В ù h l e r'a, высказанныя на VIII съѣздѣ германскихъ лѣсохозяевъ въ Дрезденѣ¹⁾. Согласно В ù h l e r'у деревья въ состояніи задерживать не болѣе 5—7000 литровъ на гектаръ въ буковомъ насажденіи и 25—30,000 литровъ въ хвойномъ лѣсу, что соотвѣтствуетъ слою воды не свыше 3 мм. Подстилочный покровъ поглощаетъ въ буковыхъ насажденіяхъ maximum 18000 литровъ, а въ еловыхъ и пихтовыхъ насажденіяхъ 60000 литровъ, слѣдовательно отъ 1,8 до 6 мм. Такимъ образомъ мы видимъ, что лѣсъ въ состояніи задерживать приблизительно 10 мм. Но это количество представляющее на основаніи предыдущихъ разсужденій, верхній предѣлъ вліянія лѣса, довольно незначительно противъ тѣхъ массъ воды, которыя выпадаютъ при ливняхъ исключительной силы, способныхъ вызвать значительныя паводки. Суточные количества осадковъ могутъ превзойти даже 100 мм, а на горахъ даже нѣсколько сотъ миллиметровъ. Очевидно, что при такихъ количествахъ задерживающая способность лѣсовъ уже больше роли не играетъ.

Къ такому же выводу относительно вліянія лѣса на паводки приходитъ и W. Moore (A report on the influence of forests on climate and on floods 1910). Въ этой работѣ онъ между прочимъ доказываетъ что за періодъ 1879—1893, для бассейновъ рѣкъ Ohio, Tennessee и Cumberland не произошло увеличенія числа паводковъ, не смотря на вырубку лѣсовъ.

Весьма важными являются наблюденія Бельграна (см. Belgrand, La Seine) надъ расходами 2-хъ рѣчекъ изъ которыхъ одна (Grenetièrre) обладаетъ бассейномъ весьма лѣсистымъ, тогда какъ бассейнъ другой (Bouchat) совершенно безлѣсенъ; въ остальныхъ отношеніяхъ бассейны были приблизительно одинаковы, обладая оба непроницаемою почвою. Несмотря на указанную разницу въ лѣсистости, регулярныя

1) См. Шванпахъ, Лѣсная политика. Лѣсной журналъ 1907.

наблюденія надъ расходами этихъ рѣчекъ (съ ноября 1850 г. до мая 1853 г.) не показали существенной разницы въ режимѣ ихъ стока. Какъ въ лѣсистомъ, такъ и въ безлѣсномъ бассейнѣ паводки отличались большою силою и кратковременностью, соотвѣтственно преобладанію поверхностнаго стока, вслѣдствіе непроницаемости почвы. Соотвѣтственно этому и межень, какъ въ томъ, такъ и въ другомъ бассейнѣ отличалась чрезвычайно слабымъ расходомъ.

Въ связи съ вопросомъ о вліяніи лѣсовъ, скажемъ еще нѣсколько словъ о значеніи болотъ, которымъ обыкновенно приписывается еще болѣе важная гидрологическая роль, чѣмъ первымъ. Прежде всего замѣтимъ, что роль болотъ (это относится и къ лѣсу) можетъ быть замѣтною только въ такихъ бассейнахъ, въ которыхъ они занимаютъ значительную часть поверхности, или точнѣе, въ которыхъ водосборная площадь болотъ значительна. Замѣтимъ, что, въ общемъ, водосборная площадь болота не превосходитъ его поверхности на очень большую величину, что явствуетъ уже изъ большого распространенія болотъ на водораздѣлахъ; и въ этомъ заключается важная причина различной роли болотъ и озеръ. Послѣднія могутъ и при незначительной, по сравненію со всѣмъ разсматриваемымъ бассейномъ, поверхности имѣть большое вліяніе на процессъ стока со всего бассейна, если только водосборная площадь озера занимаетъ большую часть этого бассейна (водосборная площадь озера можетъ, какъ извѣстно, въ десятки разъ превосходить величину поверхности озера); болота же, какъ мы уже сказали, могутъ лишь въ томъ случаѣ играть замѣтную роль въ процессѣ стока съ поверхности всего бассейна, если они сами занимаютъ значительную часть поверхности этого бассейна. Послѣднее обстоятельство нерѣдко упускается изъ виду, и болотамъ или лѣсамъ, занимающимъ лишь незначительную часть площади бассейна, приписывается вліяніе на процессъ стока, которое далеко превосходитъ предѣлъ вліянія ихъ, обуславливаемый указанными соображеніями. Особенно часто такое преувеличенное значеніе приписывается болотамъ, находящимся у истоковъ рѣкъ, хотя бы площадь ихъ составляла лишь сотыя или еще меньшія доли всей площади бассейна. Повидимому, такое воззрѣніе коренится на давно уже опровергнутомъ представленіи о томъ, что регулярное питаніе

рѣкъ происходитъ только видимымъ путемъ изъ источниковъ, причѣмъ игнорировалось подземное, невидимое питаніе рѣкъ, въ которомъ участвуетъ вся площадь ихъ бассейновъ.

Подобно тому, какъ мы выше разбирали вліяніе лѣса, разсмотримъ отдѣльно вопросъ о вліяніи болота на абсолютную величину стока и регулирующее вліяніе его. Какъ мы знаемъ, отвѣтъ на вопросъ, вліяетъ ли болото въ положительномъ или отрицательномъ смыслѣ на абсолютную величину стока, если сравнивать болото съ другимъ видомъ растительнаго покрова, зависитъ отъ того, испаряетъ ли болото въ общемъ больше или меньше послѣднихъ. До сихъ поръ, повидимому, не существуетъ опытовъ при естественныхъ условіяхъ, которые давали бы намъ искомыя величины испаренія. Нужно однако полагать, что испареніе болотъ будетъ сравнительно весьма большимъ. Къ такому заключенію приводятъ слѣдующія соображенія. 1) Испаренію благоприятствуетъ почти постоянный избытокъ влаги въ болотѣ; 2) въ томъ же смыслѣ дѣйствуетъ большая капиллярность торфа, постоянно замѣщающая испарившуюся влагу водою нижнихъ слоевъ¹⁾; 3) извѣстно, что, при прочихъ равныхъ условіяхъ, растенія на влажной почвѣ испаряютъ больше, чѣмъ въ сухой, что доказано очень большимъ числомъ непосредственныхъ измѣреній. Въ пользу этого говоритъ также то обстоятельство, что, какъ показалъ Zingeler (см. Burgerstein: Transpiration d. Pflanzen), у одного и того же вида растеній число устьицъ на mm^2 поверхности листа зависитъ отъ условій произростанія, а именно, чѣмъ влажнѣе почва, тѣмъ оно больше; на примѣръ, число устьицъ, у растеній на сухихъ свѣтлыхъ мѣстахъ равнявшееся 50—70, для влажной тѣнистой мѣстности увеличивалось до 60—160, а для экземплярровъ, произроставшихъ въ стоячихъ водахъ, канавахъ и т. д. доходило до 250—370.

Указанныя соображенія заставляютъ думать, что испареніе болотъ будетъ весьма значительнымъ, а поэтому влія-

1) По Перельсу высота волосного подъема равна:

въ крупно-песчаной почвѣ:	0,25—0,30 м
„ суглинистой	„ : 0,45—0,60 м
„ глинистой	„ : 1,00—1,25 м
„ торфяной (Moog)	„ : до 6 м.

(см. Оппоковъ. Почвовѣдніе 1901. р. 329).

ніе ихъ на годовую величину стока нужно считать отрица-
 тельнымъ. Нужно замѣтить, что послѣднее положеніе оста-
 лось бы недоказаннымъ, если болота обладаютъ свойствомъ
 конденсировать значительныя количества влаги изъ воздуха,
 какъ полагають нѣкоторые авторы относительно моховыхъ
 болотъ. Однако до сихъ поръ, повидимому, не произведено
 еще измѣреній въ естественныхъ условіяхъ, доказывающихъ,
 что это явленіе происходитъ въ значительномъ объемѣ. Впро-
 чемъ, этотъ интересный вопросъ заслуживаетъ дальнѣйшихъ
 изслѣдованій.

Обращаясь къ разбору регулирующаго вліянія болотъ,
 рассмотримъ сначала сфагновыя или моховыя болота
 (Nochmoor). Изъ ихъ свойствъ нужно отмѣтить слѣдующія
 важныя въ гидрологическомъ отношеніи: 1) моховыя болота
 отличаются выпуклою формою, что способствуетъ поверх-
 ностному стоку воды; благодаря также этому обстоятельству¹⁾
 они никогда не затопляются водою. 2) Весьма важнымъ
 является почти полное отсутствіе внутренней циркуляціи
 воды въ торфяникѣ (по Голькмитту скорость гориз.
 движенія 40—60 mm въ часъ, см. Оппоковъ: „Къ вопросу
 о многолѣтнихъ колебаніяхъ стока.“ р. 50). Далѣе замѣтимъ,
 что торфъ, хотя можетъ впитывать въ себя громадныя ко-
 личества воды, однако водопроницаемость его очень слаба:
 достаточно полного насыщенія верхняго слоя, для того, чтобы
 дальнѣйшее просачиваніе воды совершенно прекратилось,
 подобно тому, какъ это имѣетъ мѣсто у глины. Для иллю-
 страціи приводимъ опыты фонъ-Шварца (см. Оппоковъ.
 Почвовѣдніе 1905 р. 125); показывающіе количества про-
 сочившейся воды въ различныхъ почвахъ, для толщины слоя
 равной 10 см:

торфъ:	1	см ³	воды;
песокъ:	5760	„	„
глина:	0,70	„	„

Наконецъ, замѣтимъ, что болота, въ общемъ, слабо
 промерзають. Такъ, напр., согласно Fleischerу (Mittei-
 lungen über die Arbeiten der Moorversuchsstation in Bremen.
 1891)²⁾ въ сѣверной Германіи замерзаніе болотъ наступаетъ

1) Классенъ. О гидрологической роли болотъ. Почвовѣдніе.
 1907. р. 131—137.

2) Оппоковъ. Служатъ ли болота регуляторами стока водъ? р. 27.

очень рѣдко. Никитинъ въ гидрологическомъ отчетѣ о бассейнѣ верховьевъ Волги¹⁾, говоритъ, что болота промерзаютъ еще меньше лѣса или даже вовсе не промерзаютъ. Согласно Никитину таяніе снѣга на болотахъ происходитъ также медленно, чѣмъ въ лѣсу. Послѣднее утвержденіе является однако, мало вѣроятнымъ, ибо, какъ мы выше видѣли, Воейковъ показалъ, что главная причина замедленія таянія въ лѣсу является затрудненная циркуляція воздуха. Поэтому нужно ожидать, что замедленіе таянія будетъ сильнѣе всего въ лѣсу. Однако и на болотахъ происходитъ, согласно Шрейберу известное замедленіе таянія снѣга, вѣроятно, въ связи съ медленнымъ таяніемъ почвы.

Что касается вліянія разсматриваемаго вида болотъ на паводки, то въ пользу усиленія паводковъ говоритъ малая водопроницаемость торфа, а также выпуклая поверхность болотъ. Задерживающимъ образомъ можетъ вліять лишь поверхностный слой моха, способный поглотить большое количество воды, особенно если ливню предшествовала сухая погода; послѣ же насыщенія поверхностнаго слоя наступаетъ стокъ, происходящій, благодаря выпуклости болота, одновременно со всей поверхности его. Поэтому болота, въ общемъ не являются защитой отъ паводковъ. Замѣтимъ, что Оппоковъ въ своихъ многочисленныхъ трудахъ по этому вопросу совершенно отрицаетъ всякое регулирующее вліяніе болотъ. Нужно полагать, что известное исключеніе представляютъ весеннія половодья. На основаніи того, что мы выше сказали о слабомъ промерзаніи болотъ и замедленіи таянія снѣга, можно ожидать, что въ болотахъ будетъ задержано больше талой воды, чѣмъ въ полѣ (предполагая, конечно, что болото не является уже насыщеннымъ водою отъ осеннихъ дождей), а потому и сила половодья нѣсколько ослаблена.

Что касается вліянія болотъ на меженное питаніе рѣки, то весьма важнымъ обстоятельствомъ является почти полное, какъ мы видѣли, отсутствіе внутренней циркуляціи воды въ болотѣ. Очевидно, что вслѣдствіе этого болота, даже при большомъ содержаніи воды, не въ состояніи отдавать воды рѣкѣ въ сколько-нибудь замѣтномъ количествѣ. Единствен-

1) Труды экспедиціи для изслѣдованія источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Европ. Россіи; Никитинъ: Бассейнъ Волги. р. 183.

нымъ путемъ, по которому осадки, выпадающіе на болотъ, могутъ попасть въ рѣку, является поверхностный стокъ. Въ лѣтнее время, однако, благодаря сильному испаренію, поверхностный стокъ незначителенъ; исключеніе представляютъ лишь значительные ливни; поэтому нужно придти къ заключенію, что болота могутъ принимать замѣтное участіе при образованіи лѣтнихъ паводковъ, въ регулярномъ же меженнемъ питаніи не участвуютъ. Сказанное вполнѣ подтверждается наблюденіями, приведенными у Оппокова¹⁾, показавшими весьма незначительные меженніе расходы рѣкъ съ заболоченными бассейнами. Замѣтимъ, что и Никитинъ, который въ общемъ является защитникомъ благотворной гидрологической роли болотъ, приходитъ относительно торфяниковъ, особенно сфагновыхъ, расположенныхъ на водонепроницаемомъ ложѣ, къ выводу неблагоприятному, что касается ихъ вліянія на меженнее питаніе: „Когда во второй половинѣ лѣта поглощенной разными путями влаги становится недостаточно, прежде всего прекращается истеченіе изъ болота, тогда какъ сама толща его либо все время, либо долго еще остается насыщенной водою, не давая ни капли воды въ исходящую изъ болота долину, пока увеличеніе осеннихъ осадковъ не произведетъ новаго избытка водъ на поверхности болота“²⁾. Такимъ образомъ мы видимъ, что у моховыхъ болотъ отсутствуетъ внутренній стокъ и остается лишь поверхностный. Очевидно, что это обстоятельство говоритъ также въ пользу сдѣланнаго выше предположенія о значительности испаренія болотъ. Дѣйствительно, мы знаемъ, что осадки = испареніе + стокъ. Такъ какъ общая величина стока, вслѣдствіе отсутствія внутренняго стока, вѣроятно, понижена, то, очевидно, величина испаренія будетъ на соотвѣтственную величину повышена.

Что касается болотъ низинныхъ, то предыдущія разсужденія, въ общемъ, вѣроятно, приложимы и къ нимъ. Извѣстное отличіе они представляютъ въ томъ отношеніи, что, благодаря равнинности ихъ поверхности, они легко затопляются водою, и въ такомъ состояніи, подобно озерамъ, могутъ вліять ослабляющимъ образомъ на паводки (конечно,

1) Оппоковъ. О величинѣ коэффициента стока на большихъ рѣчныхъ бассейнахъ, въ связи съ нормами для расчета осушительныхъ каналовъ. Журн. Мин. П. Сообщ. 1909. кн. 5 р. 3—15.

2) Никитинъ. I. с. р. 202.

при предположеніи о достаточной величинѣ водосборной площади ихъ).

Наконецъ, что касается вліянія дренажа на гидрологическую роль болотъ, то рѣшительнымъ защитникомъ благотворнаго вліянія дренажа болотъ на меженнее питаніе рѣкъ является Оппоковъ. Такого же мнѣнія придерживаются и Танфильевъ (Болота и торфяники Полѣсья. 1895), академикъ Веселовскій (см. Оппоковъ, Днѣпръ. 1904. р. XXIV) и Классенъ (l. c.). Очевидно, благотворное вліяніе дренажа болотъ на меженнее питаніе рѣкъ заключается въ томъ, что благодаря ему большой запасъ влаги, накопившейся въ торфяникѣ въ теченіе холоднаго полугодія, получаетъ возможность стекать лѣтомъ, увеличивая такимъ образомъ меженнее питаніе рѣки. Такимъ образомъ дренажъ какъ бы восстанавливаетъ внутреннюю циркуляцію воды въ болотѣ, отсутствіе которой не давало стечь запасу влаги въ болотѣ безъ дренажа. Очевидно, какъ показываетъ вышеприведенная формула, увеличеніе стока, подъ вліяніемъ дренажа, будетъ совершаться за счетъ уменьшенія испаренія болота.

Въ заключеніе замѣтимъ еще, что окончательное, всестороннее рѣшеніе вопроса о гидрологической роли лѣсовъ и болотъ можетъ быть найдено только путемъ опыта, на основаніи многолѣтнихъ наблюденій надъ расходомъ рѣкъ, въ связи съ метеорологическими элементами, въ бассейнахъ для этой цѣли пригодныхъ. (Конечно, при этомъ нельзя упускать изъ виду, что обобщеніе найденныхъ въ частномъ случаѣ результатовъ можетъ быть сдѣлано только съ осторожностью, ибо, какъ мы выше видѣли, характеръ гидрологической роли лѣсовъ и болотъ можетъ мѣняться въ зависимости отъ внѣшнихъ условій). Про такую серію наблюденій, продолжавшихся, однако, сравнительно короткое время, мы уже выше говорили, излагая воззрѣніе Бельграна на гидрологическую роль лѣса. Подобнаго рода наблюденія, но въ несравненно болѣе широкомъ масштабѣ, начаты въ настоящее время въ Соединенныхъ Штатахъ, по почину американскаго Weather Bureau вмѣстѣ съ Forest Service of the Department of Agriculture, для изслѣдованія климатическаго вліянія лѣса и въ особенности, его гидрологической роли¹⁾. Для

1) Frankenfield. The Experiment Station at Waggon Wheel Gap, Colorado. M. W. R. 1910. p. 1453.

этой цѣли выбраны 2 небольшихъ смежныхъ бассейна при-
токовъ р. Рио Гранде въ Колорадо, величиною въ 222,7 и
212,3 акра, оба покрытые лѣсомъ и въ другихъ отношеніяхъ
тождественные. Для параллельныхъ наблюдений устраива-
ется всего 6 станцій, отчасти весьма полно оборудованныхъ.
Наблюденію подлежатъ, помимо метеорологическихъ элемен-
товъ, высота снѣжнаго покрова, грунтовая вода и, самое важ-
ное, расходъ рѣкъ. Работа рассчитана на приблизительно
20 лѣтъ, для того, чтобы имѣть возможность элиминировать
вліяніе случайныхъ колебаній климата; 10 лѣтъ наблюденія
будутъ производиться при облѣсенномъ состояніи обоихъ
бассейновъ; 10 лѣтъ — послѣ того какъ лѣсъ одного бас-
сейна будетъ вырубленъ.

Глава VI.

Измѣнчивость величины испаренія въ пространствѣ. Со- отношеніе между вліяніемъ осадковъ и физико-геологи- ческихъ факторовъ на величину испаренія.

Выше мы разсматривали измѣнчивость годовой вели-
чины испаренія въ одномъ и томъ же бассейнѣ. Обратимся
теперь къ сравненію средней годовой величины испаренія въ
различныхъ бассейнахъ и попытаемся дать отвѣтъ на во-
просъ, какими факторами, главнымъ образомъ, опредѣляется
средняя годовая величина испаренія въ различныхъ бас-
сейнахъ.

Если брать какую-нибудь климатически болѣе или менѣе
однородную, если пренебрегать различіемъ осадковъ, область
какъ напр. Среднюю Европу, соединяя подъ этимъ названіемъ,
согласно Келлеру, Германію, Швейцарію до главной цѣпи
Альпъ, Австрію и Западную Россію, то при сравненіи вели-
чинъ осадковъ, испаренія и стока для различныхъ бассейновъ,
прежде всего бросается въ глаза замѣчательное постоянство ве-
личины испаренія. Дѣйствительно, изъ таблицы Келл е р а
(см. стр. 124), дающей величины осадковъ, стока и испаренія бо-
лѣе 60 бассейновъ Средней Европы, мы видимъ, если оставить
въ сторонѣ группу альпійскихъ бассейновъ, для которыхъ
опредѣленіе величины осадковъ весьма ненадежно, что вели-
чина испаренія для различныхъ бассейновъ колеблется въ
предѣлахъ всего 184 mm (maximum имѣетъ бассейнъ р. Weis-

seritz 535 mm, minimum Schwarzwasser: 351), между тѣмъ какъ величина осадковъ колеблется въ предѣлахъ 791 mm (Eschbach 1251 и obere Netze 460) и величина стока въ предѣлахъ 761 mm (Eschbach 854, obere Netze 94). Отношеніе максимума къ минимуму равно для испаренія: 1,5, для осадковъ 2,7 и для стока 9,1. Если включить также альпійскіе бассейны, то верхніе предѣлы всѣхъ 3-хъ величинъ значительно увеличатся и равны соотвѣтственно: для испаренія 606 mm, для осадковъ 1729 mm, для стока 1123 mm (числа эти относятся къ бассейну р. Траунъ въ Зальцбургѣ). Амплитуды колебаній равны соотвѣтственно 255 mm; 1269 mm; 1029 mm. Отношенія maximum'a къ minimum'у получаются: для испаренія 1,7; для осадковъ: 3,8; для стока: 12,0 т. е. во всякомъ случаѣ колебанія величины испаренія для различныхъ бассейновъ значительно меньше колебаній величинъ осадковъ и стока. Кромѣ того мы видимъ, что изъ названныхъ 3-хъ величинъ далеко наиболѣе измѣнчивою является величина стока.

Попытаемся теперь на основаніи таблицы Келлера сравнить степень важности физико-геологическихъ и климатическихъ факторовъ при опредѣленіи величины испаренія. Прежде всего замѣтимъ, что было бы ошибочно разсмотрѣнную измѣнчивость величины испаренія приписать исключительно вліянію различныхъ физико-геологическихъ факторовъ въ различныхъ бассейнахъ. Во первыхъ, разницы въ величинѣ испаренія въ различныхъ бассейнахъ обуславливаются еще и разицею въ величинѣ осадковъ, во-вторыхъ, замѣтную роль играютъ ошибки при опредѣленіи величины испаренія, естественно увеличивающія измѣнчивость этой величины. Наконецъ, какъ мы увидимъ въ гл. VIII, средняя Европа не является достаточной однородной въ климатическомъ отношеніи, чтобы вполне исключить вліяніе различія остальныхъ климатическихъ факторовъ.

Келлеръ слѣдующимъ образомъ опредѣляетъ вліяніе физико-геологическихъ факторовъ на величину испаренія (или стока) въ различныхъ бассейнахъ Средней Европы. Нанося на графикъ точки испаренія отдѣльныхъ бассейновъ, онъ проводитъ среднюю линію черезъ полученную группу точекъ съ уравненіемъ $z = 0,058x + 405$ (I). Эта прямая показываетъ зависимость величины испаренія отъ осадковъ, имѣющую мѣсто въ среднемъ для бассейновъ Средней Европы. Кромѣ

того онъ проводитъ 2 линіи, ограничивающія названную группу точекъ снизу и сверху и соотвѣтствующія уравненіямъ $z = 350$ (II) и $z = 0,116x + 460$ (III). Эти прямыя показываютъ, по мнѣнію Келлера, предѣлы, до которыхъ можетъ отклоняться величина испаренія отъ средней линіи подъ вліяніемъ физико-геологическихъ факторовъ. При физико-геологическихъ условіяхъ въ бассейнѣ благоприятныхъ испаренію, соотвѣтствующая точка испаренія выше средней прямой (I), но не выше верхней прямой (III); при неблагоприятныхъ для испаренія условіяхъ точка находится между средней и нижней прямой (II). Такимъ образомъ, напр. подъ вліяніемъ физико-геологическихъ факторовъ, получаютъ слѣдующія возможныя максимальныя отклоненія величины испаренія отъ нормальной величины: При осадкахъ въ 600 мм максимальное возможное отклоненіе въ ту или другую сторону равно 90 мм, (при нормальной величинѣ испаренія 440 мм). При $x = 750$; (z норм. = 449) максимальное отклоненіе = 99 мм и т. д. Максимальное отклоненіе возрастаетъ пропорціонально x ; при $x = 1750$; (z норм. = 507) максимальное отклоненіе 156 мм. Мы видимъ слѣдовательно, что согласно Келлеру, съ возрастаніемъ осадковъ, вліяніе физико-геологическихъ факторовъ сильно возрастаетъ: при осадкахъ равныхъ 600 мм максимальное возможное отклоненіе отъ нормальной величины равно 20% нормальной величины (z норм. = 440) при осадкахъ въ 1750 мм оно равно уже 31% нормальной величины (z норм. = 507).

Такой результатъ является однако весьма мало вѣроятнымъ, ибо нужно полагать, что вліяніе физико-геологическихъ факторовъ съ возрастаніемъ осадковъ не увеличивается, а уменьшается. Это можно заключить изъ того, напр., что громадныя разницы въ испареніи различныхъ породъ почвы при небольшихъ осадкахъ, съ увеличеніемъ количества осадковъ сглаживаются; дѣйствительно, какъ показали опыта Эзера, въ насыщенномъ водою состояніи всѣ почвы испаряютъ одинаковыя количества воды (см. Л о к о т ь, Влажность почвы р. 175).

Что касается величины предѣловъ, найденныхъ Келлеромъ, для колебанія испаренія въ зависимости отъ различія физико-геологическихъ факторовъ, то на основаніи слѣдующихъ соображеній можно заключить, что они въ дѣйствительности значительно уже, чѣмъ принимаетъ Келлеръ. Что-

бы найти вліяніе этихъ факторовъ нужно элиминировать вліяніе осадковъ, т. е. надо опредѣлять законъ возрастанія испаренія съ возрастаніемъ осадковъ; тогда предѣлы отклоненія точекъ испаренія отъ найденной кривой испаренія приблизительно покажутъ намъ предѣлы вліянія физико-геологическихъ факторовъ. Прежде всего замѣтимъ, что прямая Келлера $v = 0,058x + 405$ повидимому значительно уклоняется отъ истинной зависимости испаренія отъ осадковъ. Чтобы доказать это образуемъ среднія величины осадковъ и испаренія послѣдовательно для группъ съ осадками въ предѣлахъ отъ 450—550; 500—600; 550—650 и т. д. Результаты показаны въ слѣдующей таблицѣ:

450—550	500—600	550—650	600—700	650—750	700—800	750—850	800—900
$x = 516$	559	586	662	703	746	797	827
$z = 375$	391	412	456	466	475	495	505
$y = 141$	168	174	206	237	271	302	322

900—1100	1000—1200	1200—1400	1400—1600	1600—1800
$x = 973$	1053	1243	1450	1729
$z = 456$	432	383	550	606
$y = 517$	621	860	900	1123

Въ этой таблицѣ прежде всего бросается въ глаза различный ходъ измѣненія величины испаренія при среднихъ осадкахъ до группы 800—900 мм и при большихъ осадкахъ, начиная съ группы 900—1100. Въ первой части таблицы, которая обнимаетъ 50 бассейновъ, мы видимъ правильное возрастаніе величины испаренія съ увеличеніемъ осадковъ; во второй части, обнимающей всего 14 бассейновъ, величина испаренія сильно понижается и подвержена значительнымъ неправильнымъ колебаніямъ. Это объясняется, повидимому, во первыхъ, незначительнымъ числомъ бассейновъ, во второй части таблицы; во вторыхъ, тѣмъ, что всѣ эти бассейны относятся къ гористымъ областямъ, по большей части, даже къ Альпамъ, гдѣ, какъ извѣстно, опредѣленія средней величины

осадковъ для цѣлаго бассейна весьма неточны, и при томъ обыкновенно значительно ниже дѣйствительности. Поэтому ограничиваемся только разсмотрѣніемъ первой части таблицы обнимающей 50 бассейновъ съ осадками ниже 900 мм. Полученныя точки испаренія вовсе не располагаются по прямой Келлера; первыя три точки лежатъ ниже ея, 4 другія точки выше ея, причемъ разности доходятъ до 50 мм; въ общемъ слѣдовательно возрастаніе испаренія съ осадками идетъ быстрѣе, чѣмъ по формулѣ (въ предѣлахъ осадковъ до 900 мм). Гораздо лучшее соотвѣтствіе мы получаемъ, если допустить, что $z = 0,41x + 170$; выше приведенныя восемь точекъ располагаются весьма близко къ этой прямой. Среднее отклоненіе равно ± 6 мм наибольшее равно $- 15$ мм.

Принимая, что вышеприведенная прямая даетъ намъ зависимость средней величины испаренія различныхъ бассейновъ отъ осадковъ, мы должны отклоненія точекъ испаренія отдѣльныхъ бассейновъ приписывать вліянію остальныхъ факторовъ. Наибольшія отклоненія дѣйствительнаго испаренія отъ нормальнаго слѣдующія:

Для бассейна р. Липпе 74 мм, (432 мм, вмѣсто нормальной величины 506 мм), для р. Энцъ $+ 64$ мм (568 вмѣсто 504) и для р. Tauber $+ 60$ мм (517 вмѣсто 457 мм). Остальныя отклоненія всѣ меньше 60 мм. Въ процентахъ нормальныхъ величинъ вышеприведенныя наибольшія отклоненія равны: 14,6%; 12,7% и 13,1%. Такимъ образомъ мы видимъ, что у разсматриваемыхъ 50-ти бассейновъ съ осадками ниже 900 мм вліяніе остальныхъ факторовъ кромѣ осадковъ, вызываетъ отклоненія величины испаренія отъ нормальной, доходящія до 15% нормальной величины.

Однако, какъ мы уже выше упомянули, вышеприведенныя отклоненія нельзя приписывать исключительно вліянію физико-геологическихъ факторовъ. Значительная часть неправильныхъ колебаній происходитъ подъ вліяніемъ различія климатическихъ факторовъ и ошибокъ при опредѣленіи; кромѣ того извѣстную роль будетъ играть и то обстоятельство, что періоды измѣреній для различныхъ бассейновъ не совпадаютъ и сильно разнятся по длинѣ (нѣкоторые не превышаютъ 3 годовъ). Принимая во вниманіе эти обстоятельства, можно полагать что въ данныхъ предѣлахъ осадковъ отъ 500—900 мм вліяніе физико-геологическихъ факторовъ на величину испаренія

ренія должно быть значительно ниже 70 мм, что составляет 15,7 % средней величины испаренія для Средней Европы (446 мм), или амплитуда колебанія величины испаренія ниже 150 мм ($\approx 31\%$). Что касается вліянія физико-геологическихъ факторовъ, при осадкахъ большихъ или меньшихъ указанныхъ предѣловъ, то, какъ мы уже указали, при большихъ осадкахъ можно ожидать уменьшеніе вліянія этихъ факторовъ, при меньшихъ осадкахъ — усиленіе.

Вышеприведенныя разсужденія конечно приложимы и къ величинѣ стока. Уравненіе средней прямой стока будетъ $y = 0,59x - 170$. Отклоненія точекъ отдѣльныхъ бассейновъ отъ средней кривой, конечно, одинаковы для испаренія и для стока. И тутъ слѣд. мы можемъ считать 70 мм за верхній предѣлъ вліянія физико-геологическихъ факторовъ при осадкахъ 600—900 мм. Разница будетъ заключаться лишь въ томъ, что процентныя величины отклоненія будутъ значительно больше, вслѣдствіе того, что въ названныхъ предѣлахъ осадковъ величина стока меньше величины испаренія. Для средней величины стока Средней Европы (268 мм) это составляетъ 26 %. Значитъ процентное отклоненіе величины стока значительно больше чѣмъ для испаренія, особенно при небольшомъ количествѣ осадковъ. Зато при очень большихъ количествахъ осадковъ (выше 2000 мм), когда величина стока въ нѣсколько разъ больше величины испаренія, процентныя отклоненія величины стока въ различныхъ бассейнахъ, вызываемыя физико-геологическими факторами, будутъ, по всей вѣроятности, довольно незначительны.

Таблицы Келлера. *) (для средней Европы). Niederschlag, Abfluss und Verdunstung nach Keller.

	km ²	число лѣтъ	x	y	z	y/x
Flachlandsgebiete:		Равнинные бассейны:				
1. Ob. Netze (obh. Küddowmdg)**)	6370	30	460	94	366	20,5
2. Ossa (Dombrowken)	1440	5	488	97	391	19,9
3. Warthe (Landsberg)	53700	10	512	130	382	25,4
4. Drewenz (mdg)**)	5510	10	527	151	376	28,6
5. Unt. Netze (mdg)	17240	30	535	182	353	34,0
6. Masurische Seen (Jegliner Kanal, Angerburg)	3150	40	543	137	406	25,2
7. Schwarzwasser (mdg)	2200	10	549	198	351	36,1
8. Alle	7130	25	550	180	370	32,8
9. Havel (Rathenow)	19790	4	558	108	450	19,4
10. Brahe (Bromberg)	4530	18	560	181	379	32,3
11. Ferse (mdg)	1630	10	564	139	425	24,6
12. Küddow (mdg)	4740	10	587	232	355	39,6
13. Ilmenau (Bardowick)	1800	10	593	193	400	32,6 ¹⁾
14. Jhna (Gollnow)	2040	4	596	221	375	37,1
15. Drage (mdg)	3200	20	628	224	404	35,7
16. Persante (mdg)	3140	8	685	264	421	38,5
17. Rega (mdg)	2670	4	698	282	416	40,4
18. Stolpe (mdg)	1650	4	712	284	428	39,9
Gemischte Gebiete:		Смѣшанные бассейны:				
1. Mittl. oder (Pollenzig)	47300	10	665	175	490	26,3
2. Aller (mdg)	15600	10	669	226	443	33,7
3. Mittl. Weser (Haya)	22300	10	744	263	481	35,3
4. Mulde (Düben)	5980	20	753	306	447	40,6
5. Emscher (Prosper)	714	9	788	403	385	51,1 ²⁾
6. Lippe (Hamm)	2160	16	820	388	432	47,3

*) Келлеръ. Литерат. № 23.

1) — 2) не совсѣмъ надежныя измѣренія осадковъ или стока.

**) mdg = устье.

Таблицы Келлера (продолжение). Keller's Tabellen.

	km ²	число лѣтъ	x	y	z	y/x
Gebirgsgebiete:		Гористые бассейны:				
1. Unt. Saale (Trebritz)	18850	20	613	168	445	27,5
2. Main (Miltenberg)	20840	12	657	187	470	28,5
3. Moldau (Prag)	26970	15	681	177	504	26,0
4. Böhm. Elbe (Tetschen)	51000	15	692	192	500	27,8
5. Eger (Laun)	5010	5	696	214	482	30,8
6. Tauber (Mergentheim)	1010	7	700	183	517	26,1
7. Jagst (mdg)	1840	11	728	280	448	38,4
8. Werra (mdg)	5500	10	730	289	441	39,6
9. Ob. Weser (Münden)	12460	10	749	257	492	34,3
10. Fulda (Münden)	6960	10	760	231	529	30,0
11. Ob. Elbe (Brandeis)	13110	5	762	238	524	31,3
12. Mosel (mdg)	28230	20	764	334	436	43,7
13. Saar (mdg)	7420	10	765	331	434	43,2
14. Ocker (Braunschweig)	1086	10	790	243	547	30,8 ³⁾
15. Donau (obh. Uler/mdg)	5380	5	793	310	483	39,1
16. Ob. Oder (Kosel)	9100	20	809	268	541	33,2 ⁴⁾
17. Ob. Saale (Remschütz)	2130	25	813	364	449	44,7
18. Enz (mdg)	2220	5	815	247	568	30,3 ⁵⁾
19. Weisseritz (Dresden)	365	18	841	306	535	36,4
20. Kocher (mdg)	1990	11	833	309	524	37,2
21. Eder (Hemfurt)	1430	25	838	353	485	42,1
22. Lachsbach (Schandau)	270	5	914	433	481	47,5
23. Chemnitzbach (Alt-Chemnitz)	277	5	968	471	497	48,6
24. Beczwa (Wsetin)	505	6	971	482	489	49,7
25. Sengbach (bei Solingen)	11,8	8	1003	691	312	68,9 ⁶⁾
26. Herzberger Teich (bei Goslar)	5,0	3	1008	577	431	57,2
27. Wupper (Dahlhausen)	213	20	1238	840	398	67,9
28. Eschbach (bei Remscheid)	4,5	18	1251	854	397	68,3

3) — 6) не совѣмъ надежныя измѣренія осадковъ или стока.

Таблицы Келлера (продолжение).

	<i>km</i> ²	число лѣтъ	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>y/x</i>
Alpenflussgebiete:			Альпійскіе бассейны.			
1. Isar (<i>mdg</i>)	8970	5	986	580	406	58,8
2. Donau (Oberzell)	7700	5	1000	585	415	58,5
3. Lech (<i>mdg</i>)	4130	5	1169	780	389	66,7
4. Iller (<i>mdg</i>)	2190	5	1239	885	354	71,5
5. Inn (Innsbruck)	5800	3	1241	990	251	79,8 ⁷⁾
6. Inn (Kufstein)	9510	3	1290	924	366	71,6 ⁸⁾
7. Enns (Steyr)	6140	10	1450	900	550	62,1
8. Traun (Lansbach)	2770	25	1729	1123	606	64,9

	<i>km</i> ²	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>y/z</i>
Hauptgebiete:		Главные бассейны:			
Мемель	91300	579	196	140	33,9
Прегель	13600	580	154	141	26,6
Висла	193000	620	158	179	25,5
Одеръ	109500	588	150	149	25,5
Эльба	139900	601	158	161	26,3
Везеръ	37900	713	247	266	34,6
Эмсъ	8200	729	275	281	37,7
Рейнь	144300	911	472	453	51,8
Дунай	101600	1036	545	571	52,6

Въ дополненіе къ таблицѣ Келлера мы можемъ привести еще данныя Stummer'a объ осадкахъ, стокаѣ и испаре-

7) — 8) не совсѣмъ надежныя измѣренія осадковъ или стока.

ни бассейна р. Марха или Моравы¹⁾, и данные М. фонъ - Тейна для верхняго Рейна²⁾.

	<i>km</i> ²	число мѣрь	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>y/z</i>
Морава до Napa Jedl	7889	25	724	246	478	34,0
Морава до Angern	25646	14	654	148	506	22,6
Рейнъ до устья р. Ландкварта .	4230	?	1200	1131	69	94,2
Рейнъ до Кадельбурга (выше впа- денія р. Аара)	16020	?	1148	758	390	66
р. Ааръ	17620	?	1234	888	346	72

[Изъ этихъ бассейновъ первые два относятся къ гористымъ или смѣшаннымъ, остальные три къ гористымъ и отчасти альпійскимъ бассейнамъ. Относительно величины испаренія этихъ бассейновъ нужно замѣтить слѣдующее. Для бассейна р. Мархъ до Ангерна приведенная величина замѣчательно хорошо согласуется съ данными для богемской Эльбы (см. въ таблицѣ Келлера). Для бассейна Моравы до Напайедля величина испаренія получается нѣсколько ниже, несмотря на замѣтно повышенное количество осадковъ. Можетъ быть, это объясняется большею гористостью этого бассейна, вслѣдствіе чего разность между дѣйствительнымъ и измѣреннымъ количествомъ осадковъ увеличивается. Послѣднее обстоятельство играетъ большую роль въ остальныхъ 3-хъ бассейнахъ, для которыхъ найденныя величины испаренія безусловно ниже дѣйствительности. Особенно ярко это выступаетъ для бассейна верхняго Рейна до Ландкварта ($z = 69$ мм). Этимъ опытомъ подтверждается сказанное въ I главѣ о необходимости отнестись весьма осторожно къ опредѣленіямъ осадковъ въ гористыхъ бассейнахъ].

Интересно сравнить найденный результатъ съ данными лизиметрическихъ опытовъ. Въ общемъ нужно сказать, что лизиметрическіе опыты, какъ мы это видѣли въ главѣ IV,

1) E. Stummer. Niederschlag, Abfluss und Verdunstung im Marchgebiete. Geographischer Jahresbericht aus Österreich. 1909. p. 1—68.

2) M. v. Tein. Der Abflussvorgang im Rhein unter der wechselnden Wasserlieferung des Stromgebietes und die Vorherbestimmung der Rheinstände. Ergebnisse der Untersuchungen der Hochwasserverhältnisse im Deutschen Rhein-gebiet. Heft VIII. 1908. Числа взяты изъ реферата въ Ежем. Бюллет. 1908. № 12.

показываютъ значительно большее вліяніе физико-геологическихъ факторовъ (главнымъ образомъ состава почвы) на величину испаренія. Меньшее значеніе ихъ въ природѣ объясняется, нужно думать, слѣдующими двумя причинами. Во первыхъ, въ природѣ, если мы рассматриваемъ болѣе или менѣе обширные рѣчные бассейны, мы никогда не имѣемъ дѣло съ совершенно исключительными условіями, какія возможны при опытахъ; составъ почвы, напр., никогда не будетъ совершенно однороднымъ на значительномъ пространствѣ, благодаря чему крайности вліянія однихъ частей будутъ отчасти компенсироваться вліяніемъ другихъ. Во вторыхъ, нужно полагать, что растительный покровъ въ общемъ нѣсколько сглаживаетъ различія въ испареніи различныхъ породъ почвы. Какъ извѣстно, растенія въ состояніи черпать влагу для транспираціи на довольно значительной глубинѣ. Благодаря этому, напр., испареніе съ песчаной почвы можетъ продолжаться, даже если вода въ ней просочилась до такой глубины, съ которой она уже не поднимается путемъ капиллярности до поверхности почвы, и слѣдовательно, при отсутствіи растительнаго покрова, была бы защищена отъ испаренія. Очевидно, что такимъ образомъ растительный покровъ отчасти сглаживаетъ разницу между песчаной почвой и мало проницаемой влагоемкой почвой, въ которой испареніе продолжалось бы и безъ содѣйствія растительнаго покрова. Приводимъ для иллюстраціи слѣдующія наблюденія Во льни¹⁾, показывающія испареніе съ различныхъ породъ почвы съ растительнымъ покровомъ и безъ него (23 апр. — 31 окт. 1875 г.):

	Колич. дождя въ мм	Испареніе въ мм		Отношеніе испаренія къ колич. осадк. въ %	
		трава	голая почва	трава	голая почва
кварц. песокъ . . .	572,5	475,5	183,1	82,7	32,0
суглинокъ		517,2	339,9	90,3	59,2
торфъ		556,3	302,9	97,1	52,9

Мы видимъ, что разницы въ испареніи подъ вліяніемъ растительнаго покрова значительно сглаживаются.

1) См. Глинка „Почвовѣдѣніе“.

На основаніи вышеприведенныхъ результатовъ мы можемъ также сдѣлать заключеніе по важному вопросу, котораго мы коснулись въ началѣ нашей работы, именно, вопроса, на сколько величина „осадки — стокъ“, взятая въ многолѣтнемъ среднемъ, соотвѣтствуетъ средней величинѣ испаренія. Не падаетъ ли значительная доля или даже большая часть, какъ полагаетъ Шрейберъ (см. Abh. sächs. met. Inst. Heft 2, p. 39), величины „осадки — стокъ“ на просачиваніе воды въ нѣдра земли? На основаніи указанныхъ соображеній мы можемъ съ большою вѣроятностью отвѣтить на этотъ вопросъ отрицательно. Просачиваніе воды, если вообще играетъ какую нибудь роль, должно быть въ общемъ весьма незначительно. Дѣйствительно, количество воды просачивающейся въ нѣдра земли въ различныхъ бассейнахъ, въ высшей степени должно зависѣть отъ породы почвы и подстилающихъ ее горизонтовъ. Такъ какъ геологическое строеніе далеко не тождественно во всѣхъ разсмотрѣнныхъ бассейнахъ, то на основаніи сказаннаго слѣдовало бы ожидать значительныхъ колебаній величины „осадки — стокъ“ въ различныхъ бассейнахъ, ибо водопроницаемость различныхъ породъ весьма различна. На самомъ дѣлѣ мы этого не наблюдаемъ. Величина „осадки — стокъ“ правильно возрастаетъ съ осадками, наблюдаемая отклоненія отъ этой законѣрной зависимости, какъ мы видѣли, сравнительно не велики и притомъ, по всей вѣроятности, въ значительной степени обусловливается ошибками измѣреній. Это заставляетъ думать, что вліяніе просачиванія должно быть незначительно.

Конечно мы не намѣрены отрицать существованія просачиванія или подземнаго стока въ извѣстныхъ исключительныхъ случаяхъ. Такъ напр. всѣмъ извѣстно явленіе исчезновенія рѣкъ, вслѣдствіе просачиванія въ карстовыхъ областяхъ, гдѣ съ обширныхъ областей стокъ совершается лишь подземнымъ путемъ и остается недоступнымъ измѣренію. Но такіе случаи представляютъ, какъ можно полагать на основаніи предыдущаго, лишь исключенія; въ подавляющемъ большинствѣ случаевъ просачиваніе въ нѣдра земли и подземный стокъ будутъ играть незначительную роль, такъ что многолѣтнее среднее величины „осадки — стокъ“ можно считать равнымъ величинѣ испаренія, предполагая конечно отсутствіе ошибокъ при измѣреніи.

Глава VII.

Годовой ходъ испаренія, стока и запаса влаги въ бассейнѣ.

При разсмотрѣннн графнковъ № 14, 15, 16, 17, также таблицъ на стр. 181, 183 и 194, изображающихъ годовоу ходъ осадковъ, стока и испаренія для бассейновъ Оки, Днѣпра, Эльбы и р. Sudbury (въ Новой Англіи) бросается въ глаза отсутствіе параллелизма между ходомъ этихъ 3-хъ величинъ. Для годовыхъ величинъ мы нашли ясно выраженную линейную зависимость, или между осадками и стокомъ, или между осадками и испареніемъ. Въ годовомъ ходѣ для мѣсячныхъ величинъ такой простой зависимости не существуетъ; для весеннихъ мѣсяцевъ, напр., осадки въ бассейнахъ Оки и Днѣпра увеличиваются, между тѣмъ какъ величина „осадки—стокъ“ не только уменьшается, но становится даже значительно меньше нуля, а величина стока на столько же больше количества осадковъ. Очевидно, это указываетъ на то, что для мѣсячныхъ величинъ осадки — стокъ не равняются испаренію, а испаренію + прибыль или — убыль запаса влаги въ бассейнѣ. Очевидно, въ весенніе мѣсяцы имѣетъ мѣсто убыль запаса влаги, происходящая вслѣдствіе таянія и стока накопившихся зимою запасовъ снѣга. Такимъ образомъ мы видимъ, что истинный ходъ величины испаренія маскируется вліяніемъ измѣненій запаса влаги въ бассейнѣ, и чтобы отдѣлнть вліяніе прибыли или убыли запаса влаги на величину „осадки — стокъ“, надо знать, какъ измѣняется запасъ влаги бассейна въ теченіе года. Непосредственно измѣрнть запасъ влаги даннаго бассейна мы, конечно не въ состояніи. Однако, нѣкоторое представленіе о годовомъ ходѣ этой величины мы можемъ получить по основаніи измѣреній влажности почвы, мощности снѣгового покрова и высоты уровня грунтовыхъ водъ. Изъ нихъ особенно важными и притомъ наиболѣе удобными въ практикѣ, являются наблюденія надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ въ колодцахъ. Обыкновенно высокое положеніе уровня воды въ колодцѣ совпадаетъ съ высокою степенью влажности почвы надъ грунтовыми водами, низкій уровень — съ пониженною влажностью, такъ что наблюденія надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ уже сами по себѣ могутъ дать приблизительную картину измѣненія запаса влаги. Исключеніе представляетъ лишь зимній пе-

ріодъ, когда, благодаря снѣжному покрову, запасъ влаги можетъ быть значителенъ и при низкомъ стояніи грунтовыхъ водъ.

Прибыль (или убыль) запаса влаги = осадки — испареніе — стокъ. Очевидно, когда осадки больше, чѣмъ испареніе + стокъ, то мы имѣемъ прибыль, въ противномъ случаѣ убыль запаса. Разберемъ теперь вкратцѣ, что намъ даютъ наблюденія надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ для сужденія о годовомъ ходѣ запаса влаги въ бассейнѣ. Проф. Соука¹⁾ въ своемъ отличномъ сочиненіи: *Die Schwankungen des Grundwassers mit besonderer Berücksichtigung der mitteleuropäischen Verhältnisse*, различаетъ два типа, что касается характера годового хода уровня грунтовыхъ водъ. Первый типъ, примѣромъ котораго можно считать Мюнхень, даетъ кривую хода уровня грунтовыхъ водъ приблизительно параллельную кривой хода осадковъ, т. е. въ этомъ случаѣ преобладаетъ вліяніе осадковъ. Для мѣстностей второго типа, къ которымъ относится Берлинъ, преобладающимъ является вліяніе испаренія. Слѣд. въ первомъ случаѣ, максимальная высота уровня вмѣстѣ съ максимумомъ осадковъ падаетъ на лѣто, минимальная высота на зиму. Во второмъ случаѣ максимумъ падаетъ на зиму, а минимумъ на лѣто. Къ первому типу принадлежатъ мѣстности съ большимъ количествомъ осадковъ и сильно выраженнымъ максимумомъ осадковъ лѣтомъ, но съ незначительнымъ недостаткомъ насыщенія или по крайней мѣрѣ съ небольшою амплитудою колебанія его отъ зимы къ лѣту. Второй типъ обнимаетъ мѣстности съ меньшимъ количествомъ осадковъ и съ менѣе ясно выраженнымъ годовымъ ходомъ ихъ, но зато обладающія большою амплитудою недостатка насыщенія. Для характеристики обѣихъ группъ приведемъ по даннымъ проф. Соука соотвѣтствующіе метеорологическіе элементы для Мюнхена (I типъ) и Берлина (II типъ).

	Средн. t°	осадки	ампл.	недост. насыщ.	амплит.
Мюнхень:	7,4 ^o	805 mm	83 mm	1,6 mm	2,36 mm
Берлинъ:	9,1 ^o	571	34	2,7	5,0

Мы видимъ, что осадки и годовая амплитуда ихъ преобладаютъ въ первомъ случаѣ; недостатокъ насыщенія и его амплитуда во второмъ случаѣ.

Что касается Россіи, то можно ожидать, что въ ней бу-

1) Pencks Geogr. Abh. Bd. II. N. 3. 1888.

деть рѣшительно преобладать I типъ, если принять во вниманіе сравнительно небольшое количество осадковъ и большую амплитуду недостатка насыщѣнія, вызываемую холодной зимою и жаркимъ, сухимъ лѣтомъ. Дѣйствительно, насколько можно судить по имѣющимся даннымъ, максимумъ запаса влаги имѣеть мѣсто зимою, минимумъ лѣтомъ, по крайней лизиметрическойя данныя, опредѣленія влажности почвы и измѣренія снѣгового покрова согласно указываютъ на повышенный запасъ влаги почвы въ холодное время года и на сильно пониженную влажность лѣтомъ. Что касается наблюдений надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ, то и онѣ указываютъ на сильное пониженіе запаса влаги лѣтомъ, однако годовой ходъ уровня не всегда тождественъ съ ходомъ уровня I-го типа. Усложненіе происходитъ повидимому, вслѣдствіе болѣе суровой зимы, прекращающей въ зимніе мѣсяцы доступъ осадковъ къ грунтовымъ водамъ. Повидимому нужно различать 2 подтипа въ зависимости отъ того, происходитъ ли въ данной мѣстности стокъ подземныхъ водъ или нѣтъ. Въ первомъ случаѣ послѣ осенняго подъема уровня, мы наблюдаемъ зимою опять сильное пониженіе, переходящее весной, подъ вліяніемъ талыхъ водъ, опять въ повышеніе. Такимъ образомъ, вмѣсто одного максимума и одного минимума, мы имѣемъ 2 максимума (весною и осенью) и 2 минимума (лѣтомъ и зимою). Второй подтипъ наблюдается въ мѣстностяхъ, въ которыхъ подземный стокъ играетъ меньшую роль. Тутъ зимняго пониженія не наблюдается: отъ осени до весны сохраняется высокій уровень, который впрочемъ, иногда весною еще повышается. Конечно и въ этихъ мѣстностяхъ лѣтомъ замѣчается сильное пониженіе уровня, не смотря на увеличенное количество осадковъ. Примѣромъ для I-го подтипа можетъ служить ходъ уровня въ колодецѣ, наблюдаемый въ Лѣсномъ Институтѣ (см. Лачиновъ: Основы метеор. и климатологіи). Тутъ весною и осенью наблюдаются максимумы, лѣтомъ и зимою минимумы. Къ I-му же подтипу принадлежитъ ходъ уровня въ колодецѣ бассейна верховьевъ Волги, о которомъ сообщаетъ Никитинъ въ гидрогеологическомъ описаніи верховьевъ Волги (Труды экспедиціи для ислѣдованія источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Россіи Бассейнъ Волги р. 198). По наблюдениямъ продолжавшимся съ 15-го іюля 1897 г. до 15-го іюля 1898 г., получился слѣдующій ходъ измѣненій уровня. Въ лѣтній періодъ замѣча-

лось паденіе уровня отъ глубины 0,70 саж. (15 іюля) до 1,73 (1 сент.). Подъ вліяніемъ осеннихъ дождей произошло поднятіе до 0,75 саж. (6 октября) послѣ этого опять началось пониженіе до наибольшей глубины въ 3,02 саж. (12 апрѣля), затѣмъ вода 2-мя скачками поднимается до 0,50 (30 апрѣля), (первый скачекъ произошелъ отъ непосредственнаго просачиванія мѣстныхъ талыхъ водъ; второй, болѣе постепенный отъ притока извнѣ грунтовыхъ водъ). Съ этого момента опять начинается пониженіе, доводящее уровень къ 15 іюля опять до начальной глубины (0,66 саж.).

Примѣры для II-го подтипа съ однимъ максимумомъ и однимъ минимумомъ можно найти въ сочиненіи О то ц к а г о¹⁾. Они относятся къ ровнымъ мѣстностямъ и отличаются глубокимъ залеганіемъ грунтовыхъ водъ; но послѣднія находятся еще въ сферѣ дѣйствія корней растительнаго покрова (въ частности лѣса). При этомъ нужно имѣть въ виду характерное для режима грунтовыхъ водъ явленіе запаздыванія колебанія ихъ уровня противъ колебаній обусловливающихъ ихъ метеорологическихъ элементовъ.

Наконецъ можно установить еще третій типъ грунтовыхъ водъ, не поименованный у проф. Со й к и (трудъ котораго относится спеціально къ средней Европѣ), весьма распространенный въ степяхъ южной Россіи. Сюда относятся грунтовые воды, глубоко залегающія подъ тяжелыми породами почвы и отдѣленные отъ сообщенія съ выпадающею влагою, мертвымъ горизонтомъ изсушенія. При такихъ условіяхъ уровень ихъ оказывается независимымъ отъ хода осадковъ или временъ года.

Такимъ образомъ мы видимъ, что для русскихъ бассейновъ запасъ влаги достигаетъ минимума лѣтомъ, максимума зимою (пониженіе уровня грунтовыхъ водъ наблюдаемое зимою, съ избыткомъ компенсируется запасомъ снѣга); тоже самое можно предполагать и относительно бассейна бог. Эльбы, р. Залы и бассейновъ (въ Новой Англіи). Для бассейна бог. Эльбы это предположеніе дѣлается вѣроятнымъ на основаніи того, что въ Прагѣ годовой ходъ колебанія уровня грунтовыхъ водъ, согласно проф. Со й к а, принадлежитъ къ первому типу. Относительно американскихъ рѣкъ это можно предполагать на томъ основаніи, что для нихъ зимніе и лѣт-

1) Грунтовые воды, ихъ происхожденіе, жизнь и распредѣленіе. 1906.

ніе осадки почти равны, а въ такомъ случаѣ, конечно, нужно думать, что запасъ влаги будетъ наименьшій въ то полугодіе, въ которое испареніе наиболѣе интенсивно. Эти соображенія показываютъ намъ, что мы должны въ весенніе и лѣтніе мѣсяцы, когда происходитъ убыль запаса влаги, увеличить величину „осадки — стокъ“ для того, чтобы найти величину испаренія; въ холодное же время года, наоборотъ, уменьшать величину „осадки — стокъ“ соотвѣтственно накопленію влаги. Открытымъ остается лишь вопросъ, чему равны эти поправки.

Пенкъ для рѣшенія этого вопроса предложилъ слѣдующій способъ: исходя изъ предположенія, что годовой ходъ испаренія эвапорометра соотвѣтствуетъ годовому ходу испаренія съ поверхности бассейна (абсолютныя величины ихъ конечно не равны), онъ распредѣляетъ среднюю годовую величину испаренія бассейна по мѣсяцамъ соотвѣтственно $\%$ -ному распредѣленію испаренія эвапорометра по мѣсяцамъ. Считая найденныя величины за истинныя величины испаренія, онъ опредѣляетъ разницы между ними и „осадками — стокъ“. Очевидно, если эта разница отрицательна, то за данный мѣсяць имѣетъ мѣсто убыль запаса влаги (Speisung), если она положительна прибыль (Aufspeicherung). Приводимъ въ слѣдующей таблицѣ результаты, полученные по этому способу для бассейновъ богемской Эльбы, Днѣпра и Оки. Данныя для Эльбы вычислены Пенкомъ, причемъ эвапорометрическія показанія относятся къ Прагѣ. Испареніе для Днѣпра вычислено Попковымъ на основаніи эвапорометрическихъ показаній станціи Василевичи. Для Оки я воспользовался данными объ осадкахъ и стокѣ Гейнца и эвапорометрическими показаніями станціи Скопина. (См. табл. на стр. 135)

Данныя этой таблицы вполне согласуются съ тѣмъ, что мы выше сказали объ измѣненіи запаса влаги. Во всѣхъ трехъ бассейнахъ мы видимъ весною и въ началѣ лѣта энергичную убыль запаса, осенью и зимою — прибыль. Сумма прибыли за отдѣльные мѣсяцы должна, конечно, равняться суммѣ убыли, и величина эта показываетъ намъ амплитуду колебанія запаса влаги. Для бассейна Эльбы она равна 70 мм для Днѣпра 95 мм, для Оки 116 мм. Это только нормальныя величины амплитудъ, въ исключительные же годы амплитуды могутъ, конечно, значительно увеличиваться. Интересно, что величины амплитудъ увеличиваются съ континентальностью климата. Наибольшею амплитудою обладаетъ наиболѣе кон-

Мѣсяцы:	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XI	Годь.
Э л ь б а													
Эвапор. въ мм	15,8	18,5	33,1	55,8	83,5	95,0	96,6	85,6	54,4	31,6	18,8	14,6	603,3
„ въ % . .	2,6	3,1	5,5	9,2	13,8	15,8	16,1	14,2	9,0	5,2	3,1	2,4	100
Осадки—стокъ	19	14	11	22	46	74	80	73	58	42	32	29	500
Испареніе . .	13	15	28	46	69	79	80	71	45	26	16	12	500
Прибыль . .	6	—	—	—	—	—	0	2	13	16	16	17	70
Убыль. . . .	—	1	17	24	23	5	0	—	—	—	—	—	70
Д и ѣ п р ь													
эвапором.въ мм	10	14	28	58	99	94	94	82	58	33	17	10	596
„ въ %	1,7	2,3	4,7	9,7	16,6	15,7	15,8	13,7	9,8	5,5	2,8	1,7	100%
Осадки—стокъ	15	13	19	2	9	59	76	64	40	42	31	25	397
Испареніе . .	7	9	19	39	65	62	62	55	39	22	11	7	397
Накопленіе . .	8	4	0	—	—	—	14	9	1	20	20	18	95
Расходование .	—	—	0	37	56	3	—	—	—	—	—	—	95
О к а													
эвапором.въ мм	5	5	12	38	99	98	123	96	67	32	9	4	588
„ въ %	0,8	0,8	2,0	6,5	16,8	16,7	20,7	16,3	11,4	5,4	1,5	0,7	100
Осадки—стокъ.	22	22	23	12	42	57	82	63	53	41	34	36	437
Испареніе . .	3,5	3,5	8,8	28,5	73,6	73,1	91,6	71,4	49,9	23,7	6,6	3,1	437
Прибыль . .	19	18	—	—	—	—	—	—	—	18	28	33	116
Убыль	—	—	32	16	31	16	10	9	3	—	—	—	116

тинентальный бассейнъ т. е. бассейнъ Оки. Объясняется это сильно пониженнымъ испареніемъ въ теченіе холодной зимы, благодаря которому накапливается большой запасъ снѣга, между тѣмъ какъ въ жаркое лѣто почва сильно высыхаетъ. Какъ видно изъ таблицы, испареніе для зимнихъ мѣсяцевъ въ бассейнѣ Оки значительно меньше, чѣмъ въ бассейнѣ Эльбы, лѣтомъ же испареніе больше, не смотря на меньшее количество осадковъ. Для мѣсяцевъ съ мая по августъ испареніе въ бассейнѣ Оки даже больше осадковъ. Осадки за эти мѣсяцы равны 255 мм; испареніе 310 мм; стокъ 12 мм. Такъ какъ часть этихъ осадковъ, хотя и небольшая, идетъ на поверхностный стокъ, то осадки могутъ дать въ теченіе этихъ 3-хъ мѣсяцевъ приблизительно лишь 250 мм для покрытія потребностей испаренія. Остальная часть т. е. 60 мм (или 20%) заимствуется изъ почвенныхъ запасовъ влаги. Замѣтимъ, что для бассейна р. Эльбы, въ отличіе отъ бассейна Оки, испареніе во всѣ мѣсяцы остается ниже количества осадковъ; только испареніе + стокъ въ лѣтніе мѣсяцы больше количества осадковъ, вслѣдствіе чего и въ этомъ бассейнѣ, какъ мы видѣли, лѣтомъ происходитъ убыль запаса влаги. Мы до сихъ поръ еще ничего сказали о степени точности метода, предложеннаго Пенкомъ, т. е. насколько лежащее въ основѣ его предположеніе о параллельности годового хода испаряемости и испаренія бассейна соотвѣтствуетъ дѣйствительности. Главная причина, обуславливающая различіе въ годовомъ ходѣ этихъ 2-хъ величинъ заключается въ томъ, что въ эвапорометрѣ всегда имѣется избытокъ воды для испаренія, между тѣмъ какъ въ природѣ нерѣдко ощущается недостатокъ во влагѣ. Особенно замѣтна должна быть разница въ континентальномъ климатѣ Россіи, гдѣ лѣтомъ потребности испаренія растительнаго покрова далеко не всегда удовлетворяются, между тѣмъ какъ зимою почти всегда имѣется избытокъ влаги для испаренія. Какъ показали изслѣдованія Малюшицкаго (Къ вопросу о значеніи эвапорометрическихъ показаній для запросовъ сельско-хозяйственной практики. Изв. Моск. сельско-хоз. Инст. 1900 ч. IV кн. 3) испареніе растений лѣтомъ 1897 г. въ лизиметрахъ на опытномъ полѣ Московскаго сельско-хозяйственнаго института не показывало никакой зависимости отъ хода испаренія эвапорометровъ. Послѣднее достигало максимума въ періоды засухи, когда первое было минимумъ; и, наоборотъ, испареніе расте-

ний было максимальное въ влажные періоды, когда испареніе эвапорометровъ было минимальное. Относительно этого результата нужно однако замѣтить, что 1) онъ относится къ весьма заслушливому лѣту (съ $8/V$ до $25/X$ всего 215 мм осадковъ ; 2) въ многолѣтнемъ среднемъ для цѣлаго бассейна, которое мы имѣемъ въ виду, наблюдается болѣе или менѣе равномерное распредѣленіе осадковъ и нѣтъ періодовъ крайней засухи, которые главнымъ образомъ обусловливаютъ расхождение между ходомъ испаряемости и дѣйствительнымъ испареніемъ въ отдѣльные годы. Въ болѣе влажномъ климатѣ Павловска отношеніе испаренія дерна (испаритель Рыкачева) къ испаренію эвапорометра Вильда отличается, какъ мы видѣли въ главѣ о растительномъ покровѣ, значительно большимъ постоянствомъ, чѣмъ нашель Малюшицкій. Тѣмъ не менѣе остается въ силѣ фактъ, что лѣтомъ, особенно въ бассейнахъ русскихъ рѣкъ, вслѣдствіе недостатка влаги, дѣйствительное испареніе остается ниже возможнаго максимума; это обстоятельство стремится понизить $\frac{3}{10}$ -ное возрастаніе испаренія въ лѣтніе мѣсяцы.

Вторымъ главнымъ факторомъ обусловливающимъ различіе въ годовомъ ходѣ разсматриваемыхъ величинъ, является то обстоятельство, что эвапорометръ обыкновенно находится въ обстановкѣ защищающей его отъ дѣйствія вѣтра и инсоляціи. Очевидно, что защита отъ инсоляціи должна особенно понизить лѣтнюю величину испаряемости, такъ что этотъ факторъ вліяетъ на разницу годового хода испаренія и испаряемости въ смыслѣ обратномъ дѣйствию перваго фактора.

Наконецъ для годового хода дѣйствительнаго испаренія важное значеніе имѣетъ то обстоятельство, что зимою испареніе происходитъ съ поверхности снѣга или льда (т. е. такъ же, какъ и въ эвапорометрѣ), между тѣмъ какъ лѣтомъ оно происходитъ черезъ посредство растительнаго покрова, испаряющая способность котораго чрезвычайно велика (при избыткѣ влаги даже больше свободной водной поверхности) и обладающаго весьма важною способностью при недостаткѣ влаги въ верхнихъ слояхъ почвы черпать влагу нижнихъ слоевъ. Очевидно, что растительный покровъ также, какъ и дѣйствіе вѣтра и инсоляціи стремятся повысить относительную величину лѣтняго испаренія по сравненію съ относительною величиною лѣтней испаряемости, между тѣмъ какъ

недостатокъ въ осадкахъ лѣтомъ дѣйствуетъ въ обратномъ смыслѣ. Очевидно, что въ результатѣ вліянія этихъ факторовъ можетъ получиться весьма различное отклоненіе годового хода испаренія отъ годового хода испаряемости, такъ какъ дѣйствіе этихъ факторовъ при различныхъ климатическихъ условіяхъ будетъ различное. Принимая все это во вниманіе, нужно полагать, что, несмотря на то, что вліянія вышеуказанныхъ факторовъ отчасти взаимно компенсируются, въ общемъ годовою ходъ испаренія не будетъ строго слѣдовать за годовымъ ходомъ испаряемости, и что поэтому величины испаренія, найденныя по способу П е н к а могутъ имѣть лишь приблизительное значеніе. Въ частности, для русскихъ рѣкъ убыль влаги въ лѣтніе мѣсяцы будетъ, нужно думать, нѣсколько больше, чѣмъ даютъ вышеприведенныя вычисленія; найденная напр. для бассейна Днѣпра прибыль влаги въ іюль мѣсяцѣ является весьма маловѣроятной. Трудно предположить чтобы уже въ разгарѣ лѣта прекратилась убыль влаги и началась прибыль влаги, въ то время какъ въ бассейнѣ Оки убыль продолжается до сентября и даже въ бассейнѣ Эльбы, обладающаго замѣтно большимъ количествомъ осадковъ (въ іюль 97 мм противъ 85), въ этомъ мѣсяцѣ еще нѣтъ прибыли. Повидимому, вслѣдствіе несоотвѣтствія хода испаряемости и испаренія, для бассейна Днѣпра получились слишкомъ незначительныя величины испаренія для лѣтнихъ мѣсяцевъ. Не смотря, однако, на эти неточности, испареніе, вычисленное по способу П е н к а, безъ всякаго сомнѣнія, гораздо ближе соотвѣтствуетъ дѣйствительному испаренію, чѣмъ величина „осадки — стокъ.“

При разсмотрѣніи зависимости стока отъ осадковъ нужно имѣть въ виду, что колебанія стока слѣдуютъ за выпаденіемъ осадковъ лишь съ нѣкоторымъ запозданіемъ. Замедленіе это замѣтно не только при грунтовомъ питаніи рѣки, но и при поверхностномъ стокѣ. Для рѣки Оки, напр., скорость стока воды по тальвегу въ среднемъ для 6 ливней, согласно Г е й н ц у, опредѣлена равной 0,0288 верстъ/мин. Принимая длину русла Оки до Орла равной 100 верстамъ, Г е й н ц ъ находитъ, что влага, стекающая поверхностнымъ путемъ, и выпавшая у верховье въ рѣки, черезъ 57,9 часовъ послѣ выпаденія дождя протекаетъ мимо мѣста измѣренія расходовъ. Въ болѣе обширныхъ бассейнахъ запозданіе

стока конечно увеличивается, такъ напр. въ бассейнѣ р. Залы Schesk и Ule нашли, что колебанія уровня рѣки у Rotherburg'a слѣдуютъ за выпаденіемъ осадковъ съ среднимъ запозданіемъ въ 10 дней. На основаніи этого Ule сравниваетъ не одновременныя мѣстныя величины осадковъ и стока р. Залы, а мѣсячныя величины, отстоящія по времени на 10 дней другъ отъ друга, т. е. онъ беретъ расходъ отъ 10-го до 10-го числа, осадки же отъ 1-го до 1-го. При сравненіи этихъ величинъ получается болѣе замѣтный параллелизмъ между измѣненіями изъ года въ годъ осадковъ и стока за какой-нибудь мѣсяць, чѣмъ при сравненіи величинъ вполне совпадающихъ по времени.

Въ бассейнѣ р. Днѣпра, обнимающемъ свыше 300.000 км² запозданіе стока должно быть значительно больше, чѣмъ въ бассейнѣ Залы, обнимающемъ всего 19.000 км². Такъ какъ длина рѣки до мѣста измѣренія расходовъ (въ Кіевѣ) равна 1230 в., то, принимая среднюю скорость такую же, какъ для Оки, получаемъ для осадковъ, выпавшихъ у верховьевъ рѣки запаздываніе стока, равное 30 днямъ. Скорость вала весенней воды, согласно Максимовичу (см. Днѣпръ р. 169) равна 50—60 верстѣ/сутки, что на 1230 в. составляетъ 20—25 дней. Очевидно, при такихъ условіяхъ изъ всего количества расхода за данный мѣсяць лишь часть, притомъ вѣроятно незначительная, будетъ происходить отъ осадковъ даннаго мѣсяца.

Весьма интересною является попытка Рыкачева¹⁾, выработать методъ предсказыванія паводковъ, основанный именно на знаніи промежутка времени между выпаденіемъ осадковъ и стокомъ ихъ по руслу рѣки.

Гораздо большее замедленіе, чѣмъ при поверхностномъ стокаѣ, имѣетъ мѣсто при подземномъ стокаѣ, причеъ оно конечно весьма различно въ зависимости отъ условій грунта. Наибольшую скоростью подземный стокъ отличается въ крупномъ пескѣ, но и эта скорость весьма незначительна. По даннымъ инженера К. Э. Лембке²⁾, при уклонѣ 0,001 и

1) Рыкачевъ. Колебанія уровня воды въ верхней части Волги въ связи съ осадками 1895 Зап. И. Ак. Наукъ VIII сер. т. II. № 8. Также Гравеліусъ: Предварительное сообщеніе о результатахъ примѣненія метода Рыкачева къ изученію зависимости колебанія уровня воды въ рѣкахъ въ зависимости отъ атмосферныхъ осадковъ. Изв. И. Ак. Н. сер. V. т. VII. № 4. 1897.

2) См. Отоцкій. Грунтовая вода.

скважности грунта 25% по объему, скорость воды въ гравіѣ съ пескомъ или въ пескѣ съ діаметромъ зерна въ 2 mm равна 1,36 саж. въ сутки или приблизительно 1 верста въ годъ. Для мелкаго же глинистаго песка скорость въ сутки равна 0,00675 с., въ годъ 2,46 саж. Изъ такой медленности подземнаго стока вытекаетъ важное слѣдствіе: рѣки, которыя питаются главнымъ образомъ грунтовыми водами, должны отличаться равномернымъ расходомъ воды. Это происходитъ отъ того, что грунтовые воды различныхъ частей бассейна употребляютъ для стока въ рѣку промежутки времени весьма различной длины, а потому въ рѣку одновременно изливаются воды, соотвѣтствующія дождямъ разныхъ мѣсяцевъ и бѣдность одного будетъ компенсироваться богатствомъ другого. Равномерность подземнаго стока позволяетъ также приблизительно опредѣлить его величину. Для этого нужно опредѣлить величину расхода рѣки послѣ періода бездождія достаточной длины, для того, чтобы поверхностный стокъ со всего бассейна прекратился. Конечно этотъ способъ удобнѣе приложимъ къ малымъ, чѣмъ къ большимъ бассейнамъ, ибо, чѣмъ больше бассейнъ, тѣмъ рѣже будутъ встрѣчаться періоды бездождія для всей поверхности бассейна. Для р. Залы Уле аналогичнымъ путемъ нашель, что грунтовое питаніе въ данномъ бассейнѣ даетъ немного больше одной трети расхода рѣки. Для Оки Гейнцъ находитъ, что приблизительно 13% всего расхода падаетъ на ключевое питаніе. Это число опредѣлено на основаніи расхода рѣки во время ледостава въ ноябрѣ 1897 г. Но, такъ какъ оба предшествовавшихъ мѣсяца отличались бездождіемъ, что вѣроятно понизило и ключевое питаніе, то найденное число вѣроятно нѣсколько ниже дѣйствительности. Въ бассейнѣ Оки весенній стокъ составляетъ 75% годового расхода. Если его вычестъ изъ годовой величины расхода, т. к. онъ главнымъ образомъ происходитъ поверхностнымъ путемъ, то легко видѣть, что расходъ за остальное время года приблизительно на половину падаетъ на грунтовое питаніе.

Относительно грунтового питанія рѣки замѣтимъ еще, что и оно безъ сомнѣнія будетъ имѣть годовой ходъ, достигая максимума при наиболѣе высокомъ уровнѣ грунтовыхъ водъ и наибольшемъ богатствѣ источниковъ.

Итакъ мы видимъ, что расходъ даннаго мѣсяца находится въ связи съ осадками не одного только рассматри-

ваемаго мѣсяца; кромѣ того онъ конечно зависитъ отъ величины испаренія за данный мѣсяцъ, которая, въ свою очередь, опредѣляется количествомъ осадковъ и вліяніемъ другихъ метеорологическихъ факторовъ. Все это заставляетъ думать, что между величиною расхода за данный мѣсяцъ и количествомъ осадковъ не можетъ существовать строгой зависимости даже въ лѣтніе и осенніе мѣсяцы; въ весенніе и зимніе мѣсяцы объ этомъ въ общемъ, конечно, не можетъ быть и рѣчи.

Интересный разборъ этого вопроса можно найти у Schreiber'a (Beiträge zur meteor. Hydrol. d. Elbe). Шрейберъ пытается найти зависимость между стокомъ и осадками бассейна р. Эльбы, опредѣляя расходъ данного мѣсяца 1) какъ функцію осадковъ данного мѣсяца, 2) осадковъ предыдущаго мѣсяца, 3) осадковъ данного и предыдущаго мѣсяца, 4) какъ функцію осадковъ данного и 2-хъ предыдущихъ мѣсяцевъ. Обозначая расходъ данного мѣсяца черезъ S , осадки этого мѣсяца черезъ N , осадки двухъ предыдущихъ мѣсяцевъ черезъ N_{-1} и N_{-2} , Шрейберъ на основаніи значеній S , N , N_{-1} , N_{-2} для 19-ти годовъ 1876—1894 опредѣляетъ посредствомъ метода наименьшихъ квадратовъ коэффиціенты слѣдующихъ формулъ 1) $S = \alpha N$; 2) $S = \alpha N_{-1}$; 3) $S = \alpha N + \beta N_{-1}$; 4) $S = \alpha N + \beta N_{-1} + \gamma N_{-2}$.

Согласно первой формулѣ Шрейберъ получаетъ для іюля $S = 0,128 N$, причемъ средняя ошибка $d = \pm 2,6$ мм; на основаніи второй формулы $S = 0,136 N_{-1}$; средняя ошибка $= \pm 2,2$ мм. Слѣд. расходъ воды для іюля мѣсяца можно опредѣлить точнѣе на основаніи осадковъ іюня, чѣмъ на основаніи осадковъ іюля. Въ первомъ случаѣ средняя ошибка равна 23% средней величины расхода, во II случаѣ 19%. Это указываетъ на то, что осадки іюля даютъ лишь меньшую половину расхода воды въ іюль. Наиболѣе точныя величины получаются на основаніи осадковъ данного и предыдущаго мѣсяца. При вычисленіи же коэффиціентовъ для формулъ съ осадками данного и 2-хъ предыдущихъ мѣсяцевъ (N , N_{-1} , N_{-2}) для N_{-2} получаются отчасти отрицательные коэффиціенты, что конечно не можетъ соответствовать дѣйствительности и объясняется тѣмъ, что вліяніе этихъ мѣсяцевъ ниже предѣловъ ошибокъ опредѣленія; поэтому нужно ограничиваться 2-мя мѣсяцами. Для мѣсяцевъ съ мая по октябрь для періода 1876—1894 получаются слѣду-

юція величини коефіцієнтів α и β и ошибокъ при вычисленіи стока среднихъ (d) и среднихъ квадратичныхъ (μ).

	α	β	μ	d	d
V	0,172	0,130	$\pm 4,7$ mm	$\pm 3,8$ mm	= 21 ^o / _o
VI	0,106	0,079	$\pm 2,3$ „	$\pm 1,8$ „	= 13 ^o / _o
VII	0,051	0,081	$\pm 2,4$ „	$\pm 1,9$ „	= 17 ^o / _o
VIII	0,100	0,050	$\pm 3,1$ „	$\pm 2,5$ „	= 22 ^o / _o
IX	0,043	0,110	$\pm 3,8$ „	$\pm 3,0$ „	= 25 ^o / _o
X	0,128	0,104	$\pm 3,7$ „	$\pm 3,0$ „	= 23 ^o / _o

Какъ видно изъ сравненія коефіцієнтовъ α и β , вліяніе осадковъ предыдущаго мѣсяца на стокъ даннаго мѣсяца весьма замѣтно, въ іюль оно даже больше вліянія осадковъ самого іюля. Кромѣ того на основаніи значительныхъ среднихъ ошибокъ (отъ 13^o/_o до 25^o/_o) мы видимъ, что этотъ способъ не можетъ дать надежныхъ результатовъ.

Если сравнивать между собою графики изображающіе годовую ходъ стока въ различныхъ бассейнахъ, то мы замѣчаемъ между ними существенныя различія. Общюю чертою является лишь максимумъ стока весною и сильное уменьшеніе его лѣтомъ, въ частности же отдѣльныя кривыя сильно отличаются другъ отъ друга. Характернымъ для русскихъ рѣкъ является то обстоятельство, что значительно большая половина годового расхода падаетъ на весеннее половодье. Такъ для р. Оки расходъ во время половодья, продолжающагося, по Гейнцу, въ среднемъ всего 56 дней, составляетъ 75^o/_o всего годового расхода. Такая-же приблизительно часть стекаетъ весною и въ Москвѣ рѣкѣ¹⁾. Въ 1880 году, въ которомъ половодье было сравнительно невелико, въ 25 дней половодья стекло 52^o/_o всего годового расхода. Въ рѣкѣ Днѣпрѣ въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ съ марта по іюнь стекаетъ 99 мм или 67^o/_o годового расхода. Мы видимъ, что весеннее половодье на Днѣпрѣ продолжается почти вдвое дольше, чѣмъ на Окѣ. Объясняется это, во первыхъ, громадною поверхностью бассейна, на которой таяніе снѣга въ общемъ не будетъ наступать одновременно; 2) можетъ быть, играетъ роль лучшая водопроницаемость почвы и обиліе лѣсовъ въ бассейнѣ Днѣпра, замедляющихъ стокъ талыхъ водъ. На вліяніе водопроницаемости почвы въ Днѣ-

1) Воейковъ. Климаты земного шара.

провскомъ бассейнѣ указываетъ также то обстоятельство, что мененій стокъ въ Днѣпрѣ значительно больше (приблизительно въ 2 раза) чѣмъ въ Окѣ.

Въ связи съ огромной величиной стока въ весеннее половодье находится незначительность расхода въ остальное время года. Такъ въ р. Окѣ расходъ въ остальные зимніе мѣсяцы не превосходитъ 2—3 мм, между тѣмъ какъ онъ въ мартѣ равенъ 58 мм, въ апрѣлѣ 26 мм. Разница между наивысшимъ (въ мартѣ) и наименѣйшимъ (декабрь) мѣсячнымъ расходомъ равна 56,3 мм, отношеніе ихъ равно 23:1 (мы говоримъ о многолѣтнихъ среднихъ мѣсячныхъ величинахъ; амплитуда колебанія стока въ отдѣльные годы можетъ быть, конечно, гораздо значительнѣе).

Въ Днѣпрѣ стокъ происходитъ нѣсколько равномернѣе, но и тутъ максимальный мѣсячный расходъ въ 8 разъ превосходитъ минимальный мѣсячный расходъ.

Важно замѣтить, что расходъ р. Оки и осенью, и зимою не увеличивается по сравненію съ лѣтнимъ; напротивъ того, зимою даже нѣсколько понижается и достигаетъ минимума въ декабрѣ (2,1 мм), такъ что почти круглый годъ мѣсячный расходъ колеблется въ предѣлахъ отъ 2,2 до 3,4 мм (или отъ 3,6‰ до 11,3‰ осадковъ) и лишь въ теченіе 2-хъ мѣсяцевъ онъ достигаетъ 58 мм, resp. 26 мм (что соотвѣтствуетъ 167, resp. 69‰ осадковъ). Въ Днѣпрѣ мѣсячный расходъ зимою увеличивается, какъ видно изъ таблицы, но весьма возможно, что это увеличеніе лишь кажущееся, вызываемое ледянымъ покровомъ, вліяніе котораго, какъ указываетъ Оппоковъ, не принято въ расчетъ (ср. гл. I. о вліяніи ледяного покрова).

Что касается режима западно-европейскихъ рѣкъ, не питаемыхъ въ замѣтной степени талыми водами горныхъ снѣговъ, то, какъ показываетъ графикъ, для рѣки Эльбы общій характеръ одинаковъ съ режимомъ русскихъ рѣкъ. Нѣкоторое отличіе отъ режима р. Оки заключается въ томъ, что осенью и зимою замѣчается слабое увеличеніе расхода (для р. Залы ссеннее возрастаніе расхода болѣе замѣтно). Главная же разница заключается въ несравненно большей равномерности режима этихъ рѣкъ по сравненію съ русскими. Отношеніе наибольшаго мѣсячнаго расхода къ наименьшему равно 3,3 для р. Эльбы; 3,1 для р. Молдавы; 4,0 для р. Залы, между тѣмъ какъ для

р. Оки соответствующее отношение равнялось 23, для р. Днѣпра — 8, 3.

Значеніе весенняго половодья для западно-европейскихъ рѣкъ отступаетъ на второй планъ, а меженный расходъ по сравненію съ русскими рѣками въ общемъ увеличенъ. Такъ въ бассейнѣ Эльбы въ теченіе 4-хъ мѣсяцевъ половодья (отъ февраля по май) стекаетъ всего 47% годового расхода, въ Днѣпрѣ же въ теченіе также 4-хъ мѣсяцевъ половодья 67%, въ Окѣ въ теченіе всего 56 дней 75%. Зато минимальный расходъ западно-европейскихъ рѣкъ замѣтно повышенъ. Для Эльбы онъ равенъ 10 мм, для Молдавы 9, для Залы 7 мм, для Майна 9 мм; для Днѣпра же онъ равенъ всего 4,8 мм, для Оки 2,1 мм. Причина различія между режимомъ русскихъ и западно-европейскихъ рѣкъ, (поскольку оно не обусловливается питаніемъ западно-европейскихъ рѣкъ горными снѣгами) кроется въ меньшей континентальности климата Западной Европы. Уменьшеніе весенняго половодья объясняется мягкостью зимы, въ теченіе которой, благодаря оттепелямъ, значительная часть зимнихъ осадковъ стекаетъ уже до наступленія весенняго половодья. Болѣе значительный же расходъ въ теченіе лѣтнихъ мѣсяцевъ объясняется отчасти меньшею испаряемостью, отчасти болѣе значительными осадками.

Что касается американскихъ рѣкъ, то, какъ мы видимъ изъ графика для р. Sudbury, амплитуда колебанія мѣсячныхъ величинъ стока по абсолютной величинѣ еще значительно больше, чѣмъ для русскихъ рѣкъ. Для р. Sudbury амплитуда равна 126 мм; отношеніе максимальнаго мѣсячнаго расхода къ минимальному равно 15 (для р. Nashua: 9,6). Подобно выше разсмотрѣннымъ европейскимъ рѣкамъ, и у нихъ лѣтній расходъ сильно пониженъ: минимальный расходъ для Sudbury 9 мм (іюль); для р. Nashua 15 (въ сентябрѣ) характернымъ же отличіемъ ихъ является значительное повышеніе расхода осенью и зимою, что объясняется гораздо большимъ количествомъ осадковъ въ холодное полугодіе по сравненію съ русскими рѣками.

Скажемъ еще нѣсколько словъ о роли, которую играютъ осадки отдѣльныхъ временъ года въ режимѣ рѣчного стока.

Очевидно, что значеніе осадковъ даннаго мѣсяца для рѣчного стока будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше испареніе въ теченіе этого мѣсяца; при этомъ для абсолютной вели-

чины годового стока, конечно, безразлично стекает ли оставшаяся от испарения часть осадковъ въ томъ же мѣсяцѣ или служитъ ли она для пополненія запаса влаги въ бассейнѣ. Очевидно, что поэтому о значеніи осадковъ даннаго мѣсяца нельзя судить по величинѣ стока даннаго мѣсяца, а нужно принимать во вниманіе величину „осадки — испареніе“ или, что то же самое, стокъ + прибыль или — убыль запаса влаги. На основаніи того, что мы знаемъ о годовомъ ходѣ испаренія, мы можемъ сказать а priori, что наибольшую роль въ стокѣ будутъ играть зимніе осадки, а наименьшую лѣтніе. Если воспользуемся величинами испаренія басс. Оки, найденными по способу П е н к а, то, вычитывая испареніе изъ величины осадковъ, получаемъ для отдѣльныхъ временъ года слѣдующія числа, показывающія сумму стока и накопленія. Зима (IX—II): 78 mm (количество осадковъ 88), весна (III—V): 7 mm (118), лѣто (VI—VIII): — 26 mm (210), осень (IX—XI): 55 mm (135). Числа эти показываютъ, что преобладающую роль въ процессѣ питанія рѣки играютъ зимніе и осенніе осадки, причемъ первенствующая роль принадлежитъ зимнимъ, несмотря на то, что количество осадковъ зимою наименьшее. Преобладающее значеніе зимнихъ осадковъ вытекаетъ уже изъ того, что расходъ во время весенняго половодья, совершающійся главнымъ образомъ за счетъ зимняго запаса влаги, составляетъ въ русскихъ рѣкахъ, какъ мы видѣли, значительно бѣльшую половину годового расхода. Интересно, что для р. Оки величина расхода во время весенняго половодья весьма близко слѣдуетъ за количествомъ снѣга въ Орлѣ въ теченіе предыдущей зимы. Если обозначимъ величину расхода въ милл. куб. саж. черезъ y , 13-тилѣтнее среднее этой величины черезъ y_0 (43,32), количество снѣга въ Орлѣ черезъ x , среднее его черезъ x_0 (150,7 mm) и если черезъ $\Delta x = x - x_0$ и $\Delta y = y - y_0$ обозначимъ отклоненіе отъ нормы въ данномъ году, то зависимость между y и x выражается формулою: $y = y_0 + 0,263 \Delta x$ или $y = 43,32 + 0,263 \Delta x$ (милл. куб. саж.), позволяющей опредѣлить величину расхода половодья на основаніи количества снѣга въ Орлѣ, со среднею ошибкою въ $\pm 6,18$ милл. куб. саж. или $\pm 14\%$ средней величины. Замѣтимъ, что предсказывая расходъ половодья, равный его средней величинѣ, мы дѣлали бы среднюю ошибку $= \pm 16,07$ т. е. гораздо бѣльшую. Средняя ошибка формулы была бы вѣроятно еще меньшею, если бы было извѣстно не только

количество снѣга въ Орлѣ, но и среднее количество для бѣльшаго числа станцій въ бассейнѣ или, еще лучше, запасъ снѣга, накопившійся къ началу весны. Кромѣ того величина расхода зависитъ и отъ быстроты таянія снѣга и отъ состоянія почвы. Чѣмъ быстрѣе происходитъ таянiе, и чѣмъ глубже промерзшею является почва, тѣмъ больше будетъ половодье, при данномъ запасѣ снѣга. Наконецъ замѣтимъ еще, что высота половодья (т. е. наивысшій уровень воды) зависитъ не только отъ общаго расхода рѣки за весь промежутокъ половодья, но очевидно и отъ продолжительности послѣдняго. Бѣльшія подробности о причинахъ обуславливающихъ высоту весенняго половодья можно найти въ статьяхъ В о е й к о в а ¹⁾ и Г е й н ц а о половодьѣ 1908 года.

Что касается роли лѣтнихъ осадковъ въ питаніи рѣки, то она конечно будетъ различна въ различныхъ бассейнахъ; въ частности, для русскихъ бассейновъ можно сказать, что она ничтожна по сравненію съ ролью зимнихъ осадковъ. Прежде всего, лѣтніе осадки не участвуютъ въ грунтовомъ питаніи рѣки, такъ какъ они, благодаря энергичной транспираціи растительнаго покрова, уже раньше испаряются, прежде чѣмъ успѣваютъ просочиться въ грунтовые воды, какъ доказано многочисленными лизиметрическими опытами, а также наблюденіями надъ грунтовыми водами. Исключенія представляютъ лишь мѣстности съ хорошо водопроницаемою почвою и съ слабо развитымъ растительнымъ покровомъ. Въ такихъ случаяхъ и лѣтніе осадки могутъ участвовать въ питаніи грунтовыхъ водъ. Тѣмъ не менѣе лѣтніе осадки, въ случаѣ сильныхъ ливней (причемъ интенсивность ливня играетъ меньшую роль, чѣмъ его распространеніе по поверхности бассейна и его продолжительность, см. Г е й н ц ъ „Бассейнѣ Оки“ р. 36—37) могутъ вызывать паводки, хотя послѣдніе для русскихъ рѣкъ никогда не достигаютъ величины весенняго половодья. Эти паводки происходятъ, однако, главнымъ образомъ благодаря поверхностному стоку. Грунтовое питаніе, особенно въ бассейнахъ съ слабо водопроницаемою почвою, при этомъ замѣтно не увеличено. Это можно хорошо прослѣдить для р. Оки. Въ этой рѣкѣ даже послѣ очень значительныхъ ливней обыкновенно на 4—5 день устанавливается режимъ, не показывающій уже болѣе замѣтно увели-

1) М. В. 1908, р. 195; 203; 241.

ченнаго расхода, по сравненію съ расходомъ до начала паводка (см. Гейнцъ I. с. р. 36).

Итакъ мы видимъ, что изъ лѣтняго стока лишь часть совершается на счетъ лѣтнихъ осадковъ, а именно поверхностный; подземный же совершается за счетъ запасовъ грунтовыхъ водъ въ бассейнѣ, накопившихся въ холодное время года. Количественное соотношеніе обѣихъ частей будетъ конечно зависѣть отъ различныхъ обстоятельствъ, между прочимъ и отъ того, какая часть осадковъ выпадаетъ въ видѣ ливней. Въ бассейнѣ верховьевъ Оки, въ которомъ, какъ и вообще въ средней и нижней Россіи, лѣтніе осадки имѣютъ склонность выпадать въ видѣ ливней, повидимому больше половины лѣтняго расхода падаетъ на лѣтніе паводки, какъ это можно приблизительно видѣть изъ приложенныхъ къ указанному труду Гейнца графиковъ, дающихъ суточные величины расходовъ за 13 лѣтъ. Расходъ за 3 лѣтнихъ мѣсяца составляетъ 8,8 мм или 4,2% осадковъ; если изъ этой величины вычесть еще величину подземнаго стока, то остающаяся, весьма незначительная, по сравненію съ осадками, величина (вѣроятно не болѣе 3%) показываетъ намъ, какая ничтожная часть лѣтнихъ осадковъ стекаетъ. Для бассейна р. Днѣпра мы имѣемъ для мѣсяцевъ іюль — августъ (въ началѣ іюня еще замѣтно вліяніе половодья): осадки 148 мм, стокъ 11,7 мм = 7,9% осадковъ. Болѣе значительная величина стока объясняется, вѣроятно, болѣе интенсивнымъ грунтовымъ питаніемъ, благодаря хорошей водопроницаемости почвы. Къ аналогичному выводу о значеніи лѣтнихъ осадковъ приходитъ и Бельгранъ въ своей работѣ о р. Сенѣ. По его мнѣнію лѣтніе осадки не участвуютъ замѣтно въ питаніи рѣки; соотвѣтственно этому, они и не въ состояніи произвести значительныхъ паводковъ, за весьма рѣдкими исключеніями.

Изъ того обстоятельства, что лишь незначительная часть лѣтнихъ осадковъ стекаетъ, нельзя однако вывести заключеніе, что они вообще въ режимѣ рѣчного стока роли не играютъ. Важное значеніе ихъ заключается въ томъ, что они доставляютъ главный запасъ влаги, необходимый для испаренія, и тѣмъ самымъ защищаютъ почву и грунтовые воды отъ полнаго высыханія, которое несомнѣнно сильно отразилось бы на рѣчномъ стокѣ.

Роль осеннихъ осадковъ заключается, главнымъ обра-

зомъ, въ пополненіи истощеннаго лѣтомъ запаса влаги бассейна. Этимъ объясняется, почему осенніе осадки въ русскихъ рѣкахъ не вызываютъ значительнаго повышенія расхода, не смотря на то, что величина „осадки — испареніе“ въ осенніе мѣсяцы довольно значительна: въ бассейнѣ Оки въ сентябрѣ 5 мм, въ октябрѣ 20 мм, въ ноябрѣ 30 мм. Зимній стокъ во время ледостава, совершается, повидимому, главнымъ образомъ, за счетъ запасовъ влаги, накопившихся отъ осеннихъ осадковъ, такъ какъ въ теченіе этого времени доступъ зимнихъ осадковъ къ рѣкѣ прекращается.

Нѣкоторые авторы склоны приписывать осеннимъ осадкамъ главную роль и въ меженнемъ питаніи рѣки, полагая что зимніе осадки стекаютъ главнымъ образомъ при весеннемъ половодѣ и, поэтому, въ меженнемъ питаніи рѣки мало участвуютъ. Конечно, это можетъ быть вѣрно въ иныхъ случаяхъ, особенно когда снѣгъ выпалъ на мерзлую почву и, при быстромъ таяніи, стекаетъ по мерзлой почвѣ, не успѣвая просочиться въ почву. Въ такихъ случаяхъ, дѣйствительно, зимніе осадки въ питаніи грунтовыхъ водъ и въ меженнемъ стокѣ играютъ меньшую роль. Въ общемъ, однако, надо думать, что меженній стокъ будетъ сильнѣе зависѣть отъ зимнихъ (и весеннихъ) осадковъ, чѣмъ отъ осеннихъ. Это слѣдуетъ уже изъ того, что значительная часть осеннихъ осадковъ стекаетъ зимою, причемъ запасъ грунтовыхъ водъ, какъ показываютъ наблюденія надъ высотой уровня грунтовыхъ водъ, сильно понижается, весной же, подъ вліяніемъ талыхъ водъ, происходитъ значительное повышеніе ихъ уровня.

Глава X.

Общія формулы для испаренія и стока.

Въ главѣ II мы дали для отдѣльныхъ бассейновъ формулы, выражающія связь между осадками и испареніемъ или стокомъ и составленныя на основаніи измѣреній величинъ осадковъ и стока. Обратимся теперь къ попыткамъ найти формулы болѣе общаго характера, которыя позволяли бы вычислять, на основаніи данныхъ объ осадкахъ и другихъ метеорологическихъ элементовъ, величину испаренія и стока для различныхъ бассейновъ, не прибѣгая къ непосредственнымъ

измѣреніямъ стока. Спрашивается, возможны ли вообще подобнаго рода формулы, принимающія во вниманіе лишь вліяніе метеорологическихъ факторовъ и игнорирующихъ вліяніе физико-геологическихъ. На основаніи того, что мы знаемъ о вліяніи физико-геологическихъ факторовъ, мы можемъ ожидать, что подобнаго рода формулы не будутъ давать точныхъ результатовъ. Но мы видѣли выше, что до извѣстной степени величина испаренія бассейновъ опредѣляется климатическими факторами; физико-геологическіе факторы производятъ лишь отклоненія въ ту или другую сторону отъ нѣкоторой средней величины, остающіяся, по всей вѣроятности, далеко ниже 15%, если оставить въ сторонѣ совершенно исключительныя условія. Значитъ, если не требуется особенной точности, то, дѣйствительно, можно ограничиваться введеніемъ въ формулу однихъ лишь климатическихъ факторовъ, тѣмъ болѣе, что вліяніе физико-геологическихъ факторовъ, по существу дѣла, трудно поддается математической формулировкѣ.

Обратимся теперь къ формуламъ, составленнымъ для средней Европы. Такихъ формулъ намъ извѣстно четыре: (x = осадки; y = стокъ; z = испареніе въ мм).

1) Ренск (1897): $y = 0,73(x - 420)$;

2) Уле (1903): $y = 18 \cdot x \cdot 10^{-2} + 9x^2 \cdot 10^{-5} + x^3 \cdot 10^{-7}$;

3) Schreiber (1904): $y = x \cdot 10^{-\frac{a}{x}}$; гдѣ $a = 200 - 500$;

4) Keller (1906): $y = 0,942x - 405$;

Изъ этихъ уравненій, вычитаніемъ изъ x , получаютъ слѣдующія уравненія для испаренія:

1) $z = 0,27x + 307$;

2) $z = 0,82x - 9 \cdot x^2 \cdot 10^{-5} - x^3 \cdot 10^{-7}$;

3) $z = x(1 - 10^{-\frac{a}{x}})$;

4) $z = 0,058x + 405$;

Объ уравненіи Келлера мы уже выше говорили; оно представляетъ собою среднюю линію, проведенную черезъ 64 точки испаренія, соотвѣтственно 64 различнымъ бассейнамъ средней Европы. Эти точки группируются довольно широкою полосою и Келлеръ ограничиваетъ ее прямыми $z = 0,116x + 460$ и $z = 350$. Существованіе такой широкой полосы точекъ испаренія исключаетъ возможность найти та-

кую кривую, вдоль которой группировались бы точки испарения отдѣльных бассейновъ. Слѣдовательно, и въ такой ограниченной области, какъ средняя Европа, не существуетъ общей для всѣхъ бассейновъ кривой испарения или стока, и поэтому формулы Пенка и Уле, основанныя притомъ на недостаточномъ числѣ данныхъ и сильно другъ отъ друга разнящіяся, теряютъ значеніе.

Относительно уравненія (Келлера $z = 0,058x + 405$) замѣтимъ еще, что его ни въ коемъ случаѣ нельзя разсматривать, какъ уравненіе, дающее связь между величиною испарения и количествомъ осадковъ всей средней Европы въ различные годы. Въ такомъ случаѣ изъ уравненія слѣдовало бы, что испареніе средней Европы почти независимо отъ осадковъ, и что средняя величина испарения средней Европы (по Келлеру $z_0 = 446$; $x_0 = 714$; $y_0 = 268$) почти равно возможному максимуму испарения, что конечно не соотвѣтствуетъ дѣйствительности. На самомъ дѣлѣ испареніе всей средней Европы, какъ мы это видѣли для отдѣльныхъ бассейновъ ея (Эльба, Зала), сильно возрастаетъ съ увеличеніемъ осадковъ. Прямая Келлера должна представлять собою зависимость между многолѣтними средними испареніемъ и осадковъ различныхъ бассейновъ, но не даетъ зависимости между испареніемъ и стокомъ въ различные года для одного и того бассейна или всей средней Европы. Слабое возрастаніе испаренія съ осадками Келлеръ склоненъ объяснять тѣмъ, что для бассейновъ съ меньшимъ количествомъ осадковъ (сѣверо-восточная низменность) условія для испаренія болѣе благоприятны, чѣмъ въ югозападной части, именно, лѣтняя температура выше и отношеніе лѣтнихъ осадковъ (особенно сильно испаряющихся) къ зимнимъ больше. Что касается температуры, то Келлеръ даетъ слѣдующія данныя:

	зима	лѣто	годъ
а) Сѣв. часть средн. Европы:	1,8	13,0	7,3
б) Вся средняя Европа:	1,8	12,4	7,1
в) Альпійская группа басс.:	1,8	11,2	6,5

т. е. мы видимъ замѣтно повышенную температуру лѣтомъ въ сѣверной части (конечно это относится къ t^0 , не приведенной къ уровню моря). Такимъ образомъ распредѣленіе температуры препятствуетъ быстрому возрастанію испаренія съ осадками. Въ томъ же смыслѣ дѣйствуетъ и то обстоятель-

ство, что въ сѣверо-восточной части, обладающей меньшимъ количествомъ осадковъ, увеличивается отношеніе лѣтнихъ осадковъ къ зимнимъ: для Сѣвера средней Европы зимнее количество осадковъ равно 226 мм, лѣтнее 384; для альпійской группы бассейновъ соотвѣтствующія числа равны: 402 и 560 мм.

Формула Шрейбера представляетъ собою не одну кривую, а цѣлую систему кривыхъ, ибо коэффициенту a въ этой формулѣ можно для каждаго бассейна придавать особое значеніе. Формулу эту можно представить также въ слѣдующемъ видѣ:

$$y = x \cdot e^{-\frac{k}{x}}; \quad z = x \left(1 - e^{-\frac{k}{x}}\right); \quad \text{гдѣ } k = 2,303 a.$$

Легко видѣть, что k представляетъ собою $\lim z$ для $x = \infty$, т. е. предѣлъ, къ которому стремится величина испаренія при все увеличивающемся количествѣ осадковъ. Значенія коэффициента a для различныхъ бассейновъ колеблются въ довольно широкихъ предѣлахъ. Такъ, согласно Шрейберу, для верховьехъ рѣкъ и для равнинъ $a = 200-350$ мм; для среднихъ теченій рѣкъ a заключается между 350 и 500 мм. Соотвѣтственно этому, величина k колеблется въ предѣлахъ отъ 460 до 1500 мм. Нужно признаться, однако, что такая зависимость величины k , представляющей, какъ мы видѣли, максимальное возможное испареніе, отъ теченія рѣки, является совершенно непонятною. Весьма невѣроятнымъ является также найденный Шрейберомъ результатъ, что для составныхъ частей небольшой рѣки Weisseritz въ Саксоніи (365 км²) величина k колеблется въ предѣлахъ отъ 570 до 1095 мм. Это заставляетъ думать, что предложенное уравненіе не даетъ намъ истинной зависимости испаренія отъ осадковъ. Что касается практической приложимости этой формулы, то она не даетъ возможности опредѣлить величину стока для бассейновъ, въ которыхъ эта величина неизвѣстна, ибо въ послѣднемъ случаѣ коэффициентъ a остается неопредѣленнымъ. Величину a можно опредѣлить только изъ данныхъ осадковъ и стока за нѣсколько лѣтъ (Шрейберъ считаетъ 5 лѣтъ достаточными), т. е. величина стока должна уже быть измѣрена. Но въ такомъ случаѣ вполне достаточно составить для этого бассейна линейное уравненіе, ибо мы видѣли, что результаты измѣреній осадковъ и стока отдѣльнаго бассейна съ достаточною точностью выражаются линейнымъ уравненіемъ. Послѣднее можетъ дать даже болѣе

точные результаты, какъ видно изъ примѣра р. Залы : при линейномъ уравненіи получается средняя ошибка ± 20 мм; при уравненіи Шрейбера (коэффициентъ $a = 345$) получается средняя ошибка ± 26 мм.

Въ вышеприведенныя формулы входитъ какъ независимая переменная только количество осадковъ. Очевидно, что онѣ уже на этомъ основаніи не могутъ имѣть общаго значенія. Въ формулу, носящую общій характеръ, должны входить и остальные климатическіе факторы, ибо какъ мы видѣли въ главѣ II В, послѣдніе играютъ въ процессѣ испаренія не менѣе важную роль, чѣмъ осадки.

Далѣе, въ общую формулу количество осадковъ не можетъ входить только въ видѣ годовой суммы. Весьма важное значеніе имѣетъ и распредѣленіе осадковъ по временамъ года: зимніе осадки значительно меньше испаряются, чѣмъ лѣтніе. Въ бассейнѣ р. Залы, напр., изъ осадковъ зимняго полугодія стекаетъ 46%, лѣтняго — 16%. Поэтому, искомая формула должна относиться къ болѣе короткимъ промежуткамъ времени, напр., полугодіямъ или мѣсяцамъ. Но въ послѣднемъ случаѣ формула можетъ относиться только къ испаренію, а не къ стоку, ибо величина стока въ теченіе мѣсяца, особенно весной, въ гораздо большей степени, чѣмъ отъ осадковъ, зависитъ отъ прибыли или убыли запаса влаги въ бассейнѣ, и можетъ, какъ мы видѣли, даже въ нѣсколько разъ превосходить величину осадковъ. Испареніе же въ этомъ отношеніи гораздо болѣе независимо, чѣмъ стокъ, и для него прибыль или убыль запаса влаги играютъ, въ общемъ, значительно меньшую роль.

Вышеуказаннымъ требованіямъ отчасти удовлетворяють формулы *Ve r m e u l e*'я, приведенныя у *R a f t e r 'a* (*Water supply and irrigation paper* № 82). Формулы эти, которыя мы приводимъ ниже съ переводомъ англійскихъ мѣръ въ метрическія, даютъ мѣсячныя величины испаренія въ зависимости отъ осадковъ для рѣкъ *Sudbury*, *Croton* и *Passaic* близъ Бостона.

Январь :	$e = 6,9 + 0,10 r$
февраль :	$e = 7,6 + 0,10 r$
мартъ :	$e = 12,2 + 0,10 r$
апрѣль :	$e = 22,1 + 0,10 r$
май :	$e = 47,5 + 0,20 r$
іюнь :	$e = 63,5 + 0,25 r$

іюль :	$e = 76,2 + 0,30 r$
августъ :	$e = 66,5 + 0,25 r$
сентябрь :	$e = 41,4 + 0,20 r$
октябрь :	$e = 22,3 + 0,12 r$
ноябрь :	$e = 16,8 + 0,10 r$
декабрь :	$e = 10,7 + 0,10 r$
годъ :	$e = 393,7 + 0,16 r$

Туть e обозначаетъ испареніе, а r осадки въ мм.

Мѣсячная величина испаренія для другихъ бассейновъ получается умноженіемъ на факторъ $0,05 T - 1,48$ или $0,09 t + 0,12$, гдѣ T — средняя годовая температура въ градусахъ Фаренгейта, а t — въ ° Цельзія.

Въ позднѣйшей работѣ Vermeule дасть слѣдующую формулу для годовой величины испаренія

$$e = M (279,4 + 0,29 r),$$

гдѣ M множитель, зависящій отъ температуры и принимающій слѣдующія значенія: для 40° Фаренгейта $M = 0,77$; а для $45^{\circ} - 0,91$; $50^{\circ} - 1,07$; $55^{\circ} - 1,26$; $60^{\circ} - 1,47$.

Въ своихъ работахъ (Report on water supply, water power etc, Final Report State Geologist of New Jersey. Vol. III. Trenton, 1899; и Report on forests: Ann. Rep. State Geologist New Jersey for 1899. Trenton 1900), Vermeule сравниваетъ результаты, полученные на основаніи формулъ, съ результатами измѣреній. Rafter приводитъ изъ этихъ таблицъ данныя для 13 рѣчныхъ бассейновъ, для которыхъ вычисленныя величины испаренія сильно уклоняются отъ измѣренныхъ. Разницы колеблются между $\pm 10\%$ и $\pm 32\%$. Для остальныхъ бассейновъ, говоритъ Rafter, разницы получились меньшія.

Интересно приложить формулы Vermeule'я къ одному изъ европейскихъ бассейновъ. Возьмемъ для этого бассейнъ богемской Эльбы, для котораго средняя годовая температура равна $7^{\circ},65 C = 45^{\circ},76 F$ (согласно Пенку) и годовая сумма осадковъ 692 мм. Первая годовая формула даетъ 407,4 мм; вторая: 446,5 мм; вычисляя же испареніе помѣсячно, получаемъ годовую сумму, равную 409,7 мм. Мы получаемъ слѣдовательно величины, довольно значительно уклоняющіяся отъ дѣйствительной величины 500 мм. Вообще формулы Vermeule'я нельзя считать за общія выраженія связи между испареніемъ и осадками для любого климата. Согласно этимъ

формуламъ, испареніе безгранично возрастаетъ съ увеличеніемъ осадковъ; на самомъ дѣлѣ же, какъ мы выше видѣли, это невозможно. Испареніе можетъ возрасти только до известнаго предѣла, зависящаго отъ испаряемости климата бассейна. Дальнѣйшее повышеніе осадковъ уже не можетъ увеличивать испаренія.

Общая формула испаренія, какъ мы уже выше говорили, должна представлять собою кривую (или точнѣе, цѣлую группу кривыхъ) слѣдующаго характера: для $x = 0$, $z = 0$ и уголъ наклона кривой къ оси абсциссъ равенъ 45° ; увеличеніе z съ увеличеніемъ x замедляется, чѣмъ больше x , т. е. уголъ наклона кривой къ оси абсциссъ уменьшается и кривая, наконецъ, переходитъ въ прямую, параллельную оси абсциссъ. При достаточно большомъ количествѣ осадковъ испареніе достигаетъ, слѣдовательно, максимальной величины, которая главнымъ образомъ зависитъ отъ климатическихъ условій даннаго бассейна.

На основаніи вышеприведенныхъ соображеній и многочисленныхъ попытокъ, мы остановились на слѣдующемъ, какъ наиболѣе пригодномъ, видѣ кривой испаренія:

$$z = z_0 \operatorname{tgh} \left(\frac{x}{z_0} \right);$$

причемъ подъ символомъ tgh мы подразумѣваемъ $\operatorname{tangen} s$ hyperbolica $u = \frac{e^{-u} - e^u}{e^{-u} + e^u}$; значенія этой функціи для $u = 0 \dots$

2,39 мы даемъ въ приложеніи къ работѣ. Общій характеръ этой кривой видѣнъ изъ чертежа XVIII. — Другія обозначенія: x = количество осадковъ въ mm; z = испареніе; z_0 = возможный максимумъ испаренія, при данныхъ климатическихъ условіяхъ, при предположеніи постояннаго избытка влаги въ почвѣ; $z = z_0$ для $x = \infty$.

Лучше всего приложить эту формулу отдѣльно къ зимнему (XI—IV) и лѣтнему (V—X) полугодію. Въ такомъ случаѣ z_0 принимаетъ слѣдующія значенія:

$$\begin{array}{ll} \text{для зимняго полугодія: } z_0 = 96 \cdot d_1; \\ \text{„ лѣтняго „ „ } z_0 = 136 \cdot d_{II}; \end{array}$$

гдѣ d_1 = средній недостатокъ насыщенія въ mm для зимняго

полугодія; d_{II} — для лѣтняго. Мы видимъ, что максимальное испареніе, приходящееся на 1 мм недостатка насыщенія больше для лѣтняго, чѣмъ для зимняго полугодія. Это объясняется тѣмъ, что въ зимнемъ полугодіи испареніе главнымъ образомъ происходитъ непосредственно изъ почвы или съ поверхности снѣга и льда. Въ лѣтнее же полугодіе испареніе совершается при посредствѣ растительнаго покрова, причѣмъ возможный максимумъ испаренія, какъ мы видѣли, значительно больше, чѣмъ для свободной водной поверхности или голой почвы.

Величины коэффициентовъ для обоихъ полугодій выбраны нами такъ, чтобы результаты согласовались съ наблюденіями надъ режимомъ рѣкъ. Для зимняго полугодія можно привести нѣсколько данныхъ иного рода, показывающихъ, что принятая нами величина максимальнаго испаренія для этого полугодія, равная 16 мм въ мѣсяць на 1 мм недостатка насыщенія, не очень отличается отъ дѣйствительности. Такъ какъ въ зимніе мѣсяцы на поверхности земли обыкновенно имѣется избытокъ влаги, то очевидно для этихъ мѣсяцевъ наблюденія надъ испареніемъ большихъ резервуаровъ воды, находящихся въ естественныхъ условіяхъ, могутъ дать намъ, если и не точное, то всетаки приблизительное представленіе объ испареніи въ природѣ. Такія наблюденія были произведены Fitz-Gerald'омъ близъ Бостона¹⁾ и дали въ среднемъ слѣдующія величины испаренія: для декабря 35,0 мм; для января 24,9 мм; февраля 25,6 мм. Недостатокъ насыщенія въ Бостонѣ помѣсячно: равенъ въ XII: 1,58 мм; I: 1,42; II: 1,45 (см. ниже). Тогда мы на 1 мм недостатка насыщенія получимъ соотвѣтственно: 22,2 мм, 17,5 мм, 17,7 мм, т. е. въ среднемъ 19,1 мм.

По эвапорометру на рѣчкѣ Lea²⁾ получились въ среднемъ слѣдующія величины испаренія въ зимніе мѣсяцы: декабрь 15 мм, январь 19 мм, февраль 16 мм, въ суммѣ 50 мм. Недостатокъ насыщенія въ Croydon'ѣ, опредѣленный на данныхъ средней абсолютной и относительной влажности въ Meteorological Record, въ среднемъ за 6 зимнихъ мѣсяцевъ (декабрь — февраль) 1900 и 1901 года равенъ 0,73 мм. Но истинный недостатокъ насыщенія больше (см. объ этомъ ниже).

1) См. напр. Barrows Water supply and irrigation paper № 198. p. 115.

2) См. Людекке. Почвовѣдніе 1907. p. 43.

Принимая поправку равной 18⁰/₀, мы получаемъ исправленную величину 0,86 мм и, слѣд., испареніе на 1 мм недостатка насыщенія получается равнымъ 19,4 мм. Конечно, это число не можетъ претендовать на точность и вѣроятно больше общаго испаренія въ природѣ, ибо температура воды въ рѣчкѣ будетъ въ общемъ выше температуры поверхности почвы или снѣга. Пенкъ, какъ мы выше видѣли, нашель для бассейна Эльбы слѣдующія величины испаренія: декабрь: 12 мм; январь: 13 мм; февраль: 15 мм. Въ среднемъ 13,3 мм. Средній недостатокъ насыщенія за 3 зимнихъ мѣсяца для Праги, какъ мы ниже увидимъ, равенъ 0,94 мм. Слѣд. на 1 мм недостатка насыщенія получается испареніе 14,2 мм.

Наконецъ можно еще разсматривать данныя эвапорометровъ въ будкахъ Вильда. Конечно, эти эвапорометры отчасти защищены отъ вѣтра, что должно понижать испареніе; съ другой стороны, какъ мы знаемъ, небольшіе эвапорометры, находящіеся на нѣкоторой высотѣ надъ поверхностью земли, испаряютъ сильнѣе, чѣмъ большія поверхности воды или снѣга. Такимъ образомъ обѣ причины, по крайней мѣрѣ отчасти, компенсируются. Для Юрьева показанія эвапорометра Вильда въ среднемъ за 1894—1905 даютъ: декабрь 5,24 мм; январь 5,51; февраль 5,60. Недостатки насыщенія¹⁾ въ среднемъ за 1871—1905 равны: декабрь 0,30 мм; январь 0,28; февраль 0,35. На 1 мм недостатка насыщенія получается испареніе помѣсячно: XII: 17,5 мм; I: 19,7; II: 16,0; въ среднемъ 17,7 мм.²⁾

1) См. Сборникъ трудовъ студентовъ т. I. р. 120.

2) Примѣчаніе. Интересны также хотя и немногочисленные (всего 24), опыты Янсона и Вестмана надъ испареніемъ снѣга въ природѣ, о которыхъ мы упомянули въ главѣ I. Изъ данныхъ, опубликованныхъ въ разсматриваемой работѣ, легко вывести интересующія насъ величины. Изъ опытовъ въ февралѣ получилось среднее суточное испареніе 0,03 мм, при среднемъ недостаткѣ насыщенія 0,13; т. е. на 1 мм недостатка насыщенія суточное испареніе равно 0,23 мм. Въ мартѣ получилось суточное испареніе на 1 мм недостатка насыщенія равнымъ 0,42; въ апрѣлѣ: 0,39. Въ среднемъ, суточное испареніе на 1 мм недостатка насыщенія равно 0,34 мм, или мѣсячное испареніе на 1 мм недостатка насыщенія 10 мм. Конечно, этотъ результатъ, равно какъ и предыдущіе, не можетъ имѣть общаго значенія, ибо мы оставляемъ въ сторонѣ вліяніе вѣтра и другихъ факторовъ. Нужно думать, что вліяніемъ вѣтра, помимо различія въ обстановкѣ опытовъ, отчасти объясняются большія различія найденныхъ результатовъ. • Принятая нами величина испаренія на 1 мм недостатка насыщенія

Конечно, всё эти числа далеко нельзя считать точными если их приложить къ испаренію въ природѣ; всетаки на основаніи ихъ позволительно думать, что принятая нами для зимнихъ мѣсяцевъ величина испаренія (16 mm на 1 mm недостатка насыщенія) въ среднемъ не будетъ сильно отклоняться отъ дѣйствительности.

Такъ какъ въ дальнѣйшемъ намъ придется имѣть дѣло съ недостаткомъ насыщенія, то скажемъ нѣсколько словъ объ опредѣленіи этой величины, ибо она непосредственно не дана въ публикаціяхъ различныхъ обсерваторій; (исключеніе представляютъ только наблюденія Юрьевской и Батавской обсерваторій).

Какъ показали изслѣдованія Вейрауха¹⁾ нѣтъ возможности вычислять среднюю за извѣстный промежутокъ времени величину недостатка насыщенія на основаніи среднихъ величинъ другихъ метеорологическихъ элементовъ. Такимъ образомъ, хотя для отдѣльныхъ наблюденій имѣетъ мѣсто равенство $d = \frac{a(100 - r)}{r}$ (гдѣ d = недостатокъ насыщенія; a = абсолютная влажность; r = относительная влажность), однако это равенство перестаетъ быть вѣрнымъ, если мы беремъ напр., мѣсячныя среднія этихъ величинъ. Разница между истинною величиною недостатка насыщенія и вычисленною по предыдущей формулѣ въ этомъ случаѣ можетъ быть весьма значительною (20% или болѣе), причемъ истинная величина всегда болѣе вычисленной. Вышеприведенная формула осталась бы вѣрною также и для среднихъ величинъ въ томъ случаѣ, если бы средняя величина относительной влажности вычислялась по способу Вейрауха. Послѣдній предложилъ вычислять среднюю относительную влажность не по общепринятой формулѣ $r_0 = \frac{\sum r}{n}$, дающей ариѳметическое среднее отдѣльныхъ величинъ, а по слѣдующей формулѣ $r_0^1 = 100 \frac{\sum a}{\sum s}$, гдѣ a = абсолютная влажность; s = упругость паровъ, насыщающихъ воздухъ при дан-

можетъ относиться только къ извѣстной средней силѣ вѣтра. Для областей съ большою среднею скоростью вѣтра ее нужно нѣсколько увеличить, для областей съ малою скоростью вѣтра — нѣсколько уменьшить.

1) См. Bulletin de la soc. des nat. Moscou 1884, 1, 2 t. и M. Z. 1885, 1889, 1890.

ной температурѣ. Очевидно, что различіе между обычной средней относительной влажностью и истинной средней (какъ назвалъ Вейраухъ предложенную имъ величину) приблизительно то же, что и между средними коэффициентами стока, изъ которыхъ одинъ представляетъ собою ариѳметическое среднее отдѣльныхъ коэффициентовъ, другой же представляетъ собою отношеніе всей суммы расходовъ къ всей суммѣ осадковъ. Очевидно также, что по обычной средней относительной влажности также мало можно вычислять недостатокъ насыщенія, какъ по среднему ариѳметическому изъ отдѣльныхъ коэффициентовъ стока можно вычислять среднюю величину стока. При помощи же средней относительной влажности Вейрауха вычисленіе средняго недостатка насыщенія вполнѣ возможно по предыдущей формулѣ; дѣйствительно :

$$d_0 = \frac{\Sigma(s - a)}{n} = \frac{\frac{\Sigma a}{n} \left(100 - 100 \cdot \frac{\Sigma a}{\Sigma s} \right)}{100 \frac{\Sigma a}{\Sigma s}} = \frac{\alpha_0 (100 - r_0^1)}{r_0^1}$$

Къ сожалѣнію, однако, предложеніе Вейрауха до сихъ поръ не принято, и въ наблюденіяхъ различныхъ обсерваторій публикуются лишь ариѳметическія среднія относительной влажности (за исключеніемъ Юрьевской обсерваторіи, дающей обѣ среднія влажности).

Такимъ образомъ, если требуется знаніе точной величины недостатка насыщенія за какой-нибудь промежутокъ времени, то нѣтъ иного исхода, какъ опредѣлять на основаніи данныхъ срочныхъ наблюденій величины s и образовать среднее $\frac{\Sigma s}{n}$; тогда $\frac{\Sigma s}{n} - \frac{\Sigma a}{n}$ даетъ искомую величину. Конечно эта работа весьма мѣшкотна, даже если пользоваться упрощеннымъ методомъ вычисленій, предложеннымъ Вейраухомъ (Strichelungsmethode см. Bull. soc. nat. Moscou 1884 т. I). Къ счастью, однако, если не требуется слишкомъ большой точности, эту работу можно значительно сократить. Какъ показали наши вычисленія среднихъ недостатка насыщенія для различныхъ годовъ для Праги и Орла, какъ по точному методу, такъ и на основаніи среднихъ относительной и абсолютной влажности, можно разницу между результатами, полученными по обоимъ методамъ, т. е. поправку

придаваемую къ недостатку насыщѣнія, вычисленному на основаніи среднихъ величинъ, считать пропорціональною величиною недостатка насыщѣнія*. Если нанести на графикъ какъ абсциссы (d) величины недостатка насыщѣнія отдѣльныхъ (14) мѣсяцевъ для Праги, вычисленныя по среднимъ абсолютной и относительной влажности, и какъ ординаты соотвѣтствующія поправки, то полученныя точки довольно хорошо группируются вокругъ прямой съ уравненіемъ $d_1 - d = 0,185d - 0,056$ (см. черт. XX). Величину u опредѣляемую этимъ уравненіемъ слѣдуетъ прибавить къ вычисленному по среднимъ мѣсячнымъ величинамъ недостатку насыщѣнія; слѣд., его приходится увеличивать приблизительно на 18%. Для г. Орла соотвѣтствующія точки, хотя менѣе хорошо, группируются вокругъ прямой: $d_1 - d = 0,234d - 0,054$, т. е. поправка немного больше. Для Юрьева, какъ видно изъ чертежа XIX, поправки величинъ недостатка насыщѣнія (для 19 мѣсяцевъ) группируются вокругъ прямой съ уравненіемъ: $d_1 - d = 0,138d - 0,060$. Такимъ образомъ, напр., для опредѣленія многолѣтнихъ мѣсячныхъ среднихъ недостатка насыщѣнія достаточно найти многолѣтнія среднія при помощи среднихъ величинъ абсолютной и относительной влажности и къ полученнымъ величинамъ придавать поправки на основаніи предыдущихъ уравненій.

* Примѣчаніе. Дѣйствительно, для Праги мы нашли для 14 мѣсяцевъ (1890: I—XII; 1886: VII и 1887: VII)

		d_1	d	$d_1 - d$
1890:	I:	1,08	0,97	0,11
"	II:	0,78	0,75	0,03
"	III:	2,18	1,81	0,37
"	IV:	2,85	2,44	0,41
"	V:	4,98	4,14	0,82
"	VI:	4,62	4,05	0,57
"	VII:	5,27	4,49	0,78
"	VIII:	5,60	4,78	0,82
"	IX:	4,40	3,55	0,85
"	X:	2,82	2,45	0,37
"	XI:	1,24	1,10	0,14
"	XII:	0,59	0,59	0,00
1886:	VII:	6,30	5,36	0,94
1887:	VII:	8,00	6,80	1,20

Туть d_1 = недостатокъ насыщѣнія, найденный по точному способу; d = недостатокъ насыщѣнія, опредѣленный на основаніи мѣсячныхъ среднихъ абсолютной и относительной влажности; $d_1 - d$ поправка, придаваемая къ d .

Приведенное на стр. 154 уравнение испарения можно применить также к отдельным месяцам, причем его параметры принимают в первом приближении следующие значения.

$$\text{Январь: } z = 16 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16 d};$$

$$\text{февраль: } z = 14,5 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{14,5 d};$$

$$\text{Мартъ: } z = 16 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16 d};$$

$$\text{апрѣль: } z = 20 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{20 d};$$

$$\text{май: } z = 28 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{28 d};$$

$$\text{іюнь: } z = 28 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{28 d};$$

$$\text{іюль: } z = 28 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{28 d};$$

$$\text{августъ: } z = 28 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{28 d};$$

$$\text{сентябрь: } z = 20 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{20 d};$$

$$\text{октябрь: } z = 16 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16 d};$$

$$\text{ноябрь: } z = 16 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16 d};$$

$$\text{декабрь: } z = 16 d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16 d}.$$

Коэффициент пропорциональности увеличивается летом и уменьшается зимою. Мѣсячныя формулы не могутъ дать точныхъ результатовъ въ бассейнахъ очень сухихъ, т. е. для которыхъ въ лѣтніе мѣсяцы разница между возможнымъ максимумомъ испаренія и осадками очень велика. Въ такихъ бассейнахъ летомъ испареніе больше количества осадковъ, между тѣмъ какъ мѣсячныя формулы даютъ для отдельныхъ мѣсяцевъ величину испаренія всегда немного меньшую количества осадковъ. Въ такомъ случаѣ лучше применять полугодовыя формулы, ибо для полугодій обыкновенно величина испаренія остается ниже количества осадковъ.

Приложимъ теперь нану формулу испаренія къ нѣкоторымъ бассейнамъ, чтобы сравнить результаты вычисленій съ наблюденіями.

Для бассейна р. Залы мы получаемъ слѣдующія величины недостатка насыщенія на основаніи мѣсячныхъ среднихъ абсолютной и относительной влажности въ Preuss. meteor. Jahrbuch для г. Halle (1882—1901, за исключеніемъ 1892 года:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,61	0,81	1,29	2,37	3,52	3,98	3,95	3,83	2,70	1,60	0,95	0,72

Къ сожалѣнію, для этого города срочныя наблюденія не даны, такъ что мы не можемъ опредѣлить истинной поправки вышеприведенныхъ чиселъ. Полагая же, что поправки для станціи Halle слѣдуютъ тому же закону, что и въ Прагѣ, мы получаемъ слѣдующія исправленныя величины:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,67	0,90	1,47	2,75	4,12	4,66	4,63	4,48	3,14	1,84	1,07	0,80

Для отдѣльныхъ полугодій мы получаемъ, слѣдовательно: 1,28 mm для зимняго и 3,81 mm для лѣтняго. Количества осадковъ всего бассейна, согласно Уле, равны: для перваго полугодія 228 mm, для втораго: 385 mm. На основаніи вышеприведенныхъ формулъ для испаренія, мы получаемъ:

$$\begin{aligned} \text{за лѣтнее полугодіе: } z &= 22 \cdot 6 \cdot 3,81 \operatorname{tgh} \frac{385}{503} = 324 \text{ mm} \\ \text{„ зимнее полугодіе: } z &= 16 \cdot 6 \cdot 1,28 \operatorname{tgh} \frac{228}{122,9} = 117 \text{ mm} \\ \text{„ весь годъ: } & \qquad \qquad \qquad 441 \text{ mm} \end{aligned}$$

Мы получаемъ, слѣдовательно, величины весьма близкія къ величинамъ „осадки — стокъ“, найденнымъ посредствомъ измѣреній: 445 mm для цѣлаго года, 123 для зимняго полугодія и 322 для лѣтняго полугодія.

Примѣнимъ также мѣсячныя формулы, пользуясь данными Уле для мѣсячныхъ величинъ осадковъ въ бассейнѣ Залы:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
36	31	43	40	61	69	87	60	51	56	39	41

Вставляя въ мѣсячныя формулы вышеприведенныя значенія

для x и для d , мы получаемъ слѣдующія величины испаренія для отдѣльныхъ мѣсяцевъ :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
10,7	12,9	22,3	34,2	55,8	63,3	75,9	55,8	42,2	28,1	16,7	12,8

что даетъ для лѣтняго полугодія : 321 mm ; для зимняго : 110 mm ; для цѣлаго года 431 mm, — т. е. немного меньше, чѣмъ при примѣненіи формулъ для полугодій.

Чтобы примѣнить наши формулы къ бассейну богемской Эльбы, вычислимъ недостатокъ насыщенія для Праги. 15-тилѣтнія среднія (1876—1890) этой величины, вычисленныя на основаніи мѣсячныхъ среднихъ абсолютной и относительной влажности, имѣютъ слѣдующія значенія для отдѣльныхъ мѣсяцевъ :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,77	0,94	1,44	2,52	4,02	4,92	5,27	4,94	3,47	2,04	1,07	0,80

Исправляя ихъ на основаніи вышеприведеннаго уравненія, получаемъ окончательно :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,86	1,06	1,65	2,93	4,71	5,77	6,19	5,80	4,06	2,36	1,21	0,89

Для полугодій XI—IV : 1,43 mm ; V—X : 4,81 mm. Соотвѣтственныя количества осадковъ всего бассейна, согласно Пенку, равны : для полугодій : XI—IV 244 mm ; V—X : 448 mm ; для мѣсяцевъ :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
33	31	44	47	63	87	90	84	70	54	44	45

Примѣняя формулы для полугодій, мы получаемъ :

$$\text{за лѣтнее полугодіе : } z = 22 \cdot 6 \cdot 4,81 \operatorname{tgh} \frac{448}{634,9} = 386,0$$

$$\text{„ зимнее полугодіе : } z = 96 \cdot 1,43 \operatorname{tgh} \frac{244}{137,3} = 129,6$$

$$\text{„ весь годъ : } \underline{\hspace{10em}} 515,6$$

Мѣсячныя формулы испаренія даютъ слѣдующія величины испаренія :

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годъ
13,6	14,9	24,6	39,0	58,7	79,3	82,6	77,1	56,6	33,7	19,0	14,1	513,2

Интересно сопоставить съ этими данными мѣсячныя ве-

личины испаренія, вычисленныя Пенкомъ по способу, изложенному нами выше.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Годъ
13	15	28	46	69	79	80	71	45	26	16	12	500

Мы видимъ, что разницы въ общемъ не велики. Складывая данныя отдѣльныхъ мѣсяцевъ, мы получаемъ для полугодій:

XI—IV:	125	mm;	(по Пенку:	130	mm);
V—X:	388	"	"	"	370 "
годъ:	513	mm;	(по Пенку:	500	mm);

Мы видимъ, что для бассейна Эльбы недостатокъ насыщенія, какъ въ зимнее, такъ и въ лѣтнее полугодіе, особенно въ послѣднее, выше чѣмъ въ бассейнѣ р. Залы. Этимъ, повидимому, объясняется, что формула Пенка

$$y = 0,73 (x - 420) \text{ или } z = 0,27 x + 307,$$

дастъ для бассейна р. Залы величину испаренія замѣтно выше дѣйствительной: 473 mm противъ 445 mm.

Принимая для бассейна р. Молдавы тѣ же величины недостатка насыщенія, что и для бассейна Эльбы, мы получаемъ на основаніи данныхъ Пенка объ осадкахъ (XI—IV: 233 mm; V—X: 448 mm; весь годъ: 681 mm) слѣдующія величины испаренія:

зимнее полугодіе:	128;	(по Пенку:	130);
лѣтнее	"	386;	(" " 374);
весь годъ . . .	514;	(по Пенку:	504).

Въ статьѣ Meyer'a: Untersuchungen über das Sättigungsdeficit. M. Z. 1887 мы находимъ данныя недостатка насыщенія, вычисленныя по точному способу, для нѣсколькихъ германскихъ городовъ между прочимъ и для Берлина: зимнее полугодіе: 1,45 mm; лѣтнее: 4,65 mm (за пятилѣтіе 1879—83). Воспользуемся этими данными для вычисленія испаренія р. Havel. Осадки въ Берлинѣ за соотвѣтствующее 5-тилѣтіе равны: зимнее полугодіе: 237,3 mm; лѣтнее полугодіе: 343,6 mm; въ году: 580,9 mm. Въ бассейнѣ рѣки Гавель, согласно Келлеру, годовые осадки равны 558 mm. Предполагая, что онѣ и во всемъ бассейнѣ распредѣляются по полугодіямъ въ томъ же отношеніи, какъ и въ Берлинѣ, получаемъ окончательно:

зимнее полугодіе:	ос. 228 mm;	недост. насыщ.:	1,45
лѣтнее	"	:	330 " " " : 4,65.

Примѣняя наши формулы получаемъ слѣдующія величины испаренія:

зимнее полугодіе:	129,2
лѣтнее „	: 301,4
весь годъ	: 430,6.

У Келлера мы находимъ для этого бассейна слѣдующія величины: осадки 558 mm; стокъ 108; испареніе 450; (т. е. на 19 mm больше). Конечно, вышеприведенное вычисленіе носитъ лишь приблизительный характеръ, ибо данныя для Берлина и для бассейна р. Havel относятся къ различнымъ періодамъ.

Чтобы дать приложеніе нашей формулы и къ другимъ климатическимъ условіямъ, я вычислилъ недостатокъ насыщенія для города Бостона (за 6-ти лѣтіе 1899—1904) и скомбинировалъ его съ данными объ осадкахъ бассейновъ р. Sudbury, озера Cochituate и р. Nashua близъ Бостона. Для Бостона въ 6-ти лѣтнемъ выводѣ получился недостатокъ насыщенія, вычисленный по мѣсячнымъ среднимъ величинамъ абсолютной и относительной влажности, равнымъ: зимнее полугодіе: 1,66; лѣтнее полугодіе: 4,11. Къ сожалѣнію, и въ данномъ случаѣ за неимѣніемъ данныхъ, невозможно было опредѣлить точныхъ поправокъ этихъ величинъ. Принимая поправки по формулѣ для Праги, мы получаемъ: XI—IV: 1,91; V—X: 4,81. Конечно, это можетъ быть не совсѣмъ точно; кромѣ того, нужно замѣтить, что американскія станціи производятъ наблюденія лишь 2 раза въ сутки (8 а. m и 8 p. m). Среднее изъ этихъ 2-хъ наблюденій можетъ дать величину нѣсколько отличную отъ средней суточной величины. На основаніи сказаннаго, ниже слѣдующія вычисленія не могутъ претендовать на точность. Для указанныхъ бассейновъ мы находимъ у Newell'я¹⁾ слѣдующія величины осадковъ и испаренія:

	осадки			осадки — стокъ		
	годъ;	XI—IV	V—X	годъ	XI—IV	V—X
Sudbury:	1187 mm	625 mm	553 mm	600 mm	176 mm	424 mm
Cochituate						
Lake:	1200	593	607	682	233	449
Nashua:	1303	686	617	604	178	426

1) Progress of stream measurements 1902 Water supply and irrigation paper № 82).

На основаніи вышеприведенныхъ величинъ недостатка насыщения и осадковъ, мы получаемъ по нашимъ формуламъ слѣдующія величины испаренія:

	XI—IV	V—X	годъ
Sudbury River:	183	446	629 mm
Cochituate Lake:	183	466	649 mm
Nashua River:	183	475	658 mm

Наибольшая ошибка равна 54 mm (для бассейна р. Nashua: 658 вмѣсто 604 mm), что составляетъ немного меньше 9% истинной величины. Конечно, при вышеизложенномъ приблизительномъ вычисленіи недостатка насыщения, который мы приняли равнымъ для всѣхъ 3-хъ бассейновъ, и кромѣ того вычислили для періода, несовпадающаго съ періодами измѣренія осадковъ въ указанныхъ бассейнахъ, и нельзя было ожидать болѣе точнаго совпаденія результатовъ вычисленія и измѣренія. Кромѣ того, какъ мы уже выше указывали, ни одна общая формула, не принимающая во вниманіе физико-геологическихъ факторовъ, не можетъ давать точныхъ результатовъ для всѣхъ бассейновъ.

Интересно приложить наши формулы къ бассейну р. Эмбаха, пользуясь тѣмъ обстоятельствомъ, что для него извѣстны и среднія величины недостатка насыщения, и среднія количества осадковъ. 25-ти лѣтнія среднія осадковъ (1886—1910) для бассейна р. Эмбаха получаютъ на основаніи 29 станцій, расположенныхъ въ бассейнѣ р. Эмбаха, равными:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
29,6	23,2	22,6	31,1	43,4	63,6	80,5	84,5	47,8
			X	XI	XII	годъ		
			44,0	38,7	35,7	544,7.		

Въ Сборникѣ трудовъ студентовъ при Юрьевской Метеорологической Обсерваторіи т. I р. 120 мы находимъ 35-ти лѣтнія среднія (1871—1905) недостатка насыщения для Юрѣва.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
0,28	0,35	0,66	1,60	3,45	4,64	4,61	3,22	1,80
			X	XI	XII			
			0,91	0,40	0,30.			

Для полугодій мы получаемъ:

V—X:	осадки	364;	недост. насыщ.	3,10
XI—IV:	„	181;	„	„
				0,60

Примѣняя полугодовыя формулы, мы получаемъ для полугодій испареніе равнымъ: XI—IV: 58 mm; V—X: 290 mm; для цѣлаго года: осадки 545, испареніе 348 mm; стокъ 197 mm. Коэфф. стока 36 %. Мы получаемъ, слѣдовательно, коэффицентъ стока для р. Эмбахъ значительно большій, чѣмъ для средне-европейскихъ рѣкъ, при томъ же количествѣ осадковъ. Но въ этомъ, конечно, ничего невѣроятнаго, ибо условія испаряемости совершенно различны. Для бассейна Эльбы, напр., средній недостатокъ насыщенія для зимняго полугодія равенъ 1,43 mm; для лѣтняго 4,81 mm. Для Юрьева же соотвѣтствующія числа равны 0,60 и 3,10 mm. Замѣтимъ, что формула Пенка даетъ для бассейна р. Эмбаха величину испаренія 454 mm и стокъ 91 mm, т. е. значительно большую величину испаренія, чѣмъ мы получили по нашей формулѣ. Къ сожалѣнію, въ настоящее время мы не въ состояніи провѣрить нашихъ результатовъ, за отсутствіемъ данныхъ о стока р. Эмбаха. Мы можемъ однако сравнивать ихъ съ результатами измѣреній осадковъ и стока 2-хъ рѣчныхъ бассейновъ, находящихся въ не очень отличныхъ климатическихъ условіяхъ, именно бассейновъ р. Дальэльфа и р. Невы. Для бассейна Дальэльфа Wallén даетъ слѣдующія величины: осадки 612 mm; стокъ 449; испареніе 163; для бассейна Невы же, согласно Fritzsche: осадки 532 mm; стокъ 374; испареніе 158 mm. Эти данныя указываютъ на еще значительно меньшую величину испаренія, чѣмъ слѣдуетъ по нашей формулѣ. Формула Пенка даетъ, какъ мы видѣли, еще значительно большія величины испаренія, чѣмъ наша.

Для объясненія этого чрезвычайно сильнаго пониженія испаренія, гораздо большаго, какъ мы видѣли, чѣмъ слѣдовало бы ожидать на основаніи пониженія недостатка насыщенія, можно было бы указать на то, что въ этихъ болѣе высокихъ широтахъ инсоляція будетъ сильно уменьшена; инсоляція же сильно вліяетъ на испареніе, какъ мы выше указали. На это нужно сказать, что указанное обстоятельство, конечно, будетъ вліять въ смыслѣ уменьшенія испаренія съ увеличеніемъ широты, но что оно, повидимому, недостаточно для объясненія столь значительной разницы. Для доказательства можно привести слѣдующую таблицу Schreiber'a¹⁾. дающую величину инсоляціи въ полдень на горизонтальную

1) Der Sonnenschein. Abhandl. sächs. met. Inst. Heft 4. p. 62.

поверхность въ 1 м² въ продолженіе часа для интересующихъ насъ широтъ 50° и 60°, причемъ принято во вниманіе какъ поглощеніе лучей атмосферою, такъ и средняя облачность.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	годъ
50°	1	2	6	11	14	16	15	14	9	4	2	1	95
60°	0	1	4	9	13	14	14	10	5	1	0	0	71.

Для 50° взята станція Хемницъ въ Саксоніи; для 60° Павловскъ. Мы видимъ, что разница въ инсоляціи, особенно лѣтомъ, когда происходитъ максимальное испареніе, всетаки не такъ велика, чтобы она могла объяснять указанную большую разницу въ величинѣ испаренія. — Укажемъ еще на другое возможное объясненіе. Оба бассейна въ значительной степени покрыты хвойными лѣсами, т. е. ксерофильнымъ растительнымъ покровомъ. Въ бассейнѣ р. Дальэльфа изъ 26400 км² 20000 км², согласно Wallén'у, покрыты хвойными лѣсами. Для бассейна Невы могу привести лишь данныя о лѣсности отдѣльныхъ губерній, отчасти или цѣликомъ входящихъ въ составъ его; въ Петербургской губерніи лѣсность = 41%; въ Олонецкой — 46%; въ Новгородской 40%, при этомъ и тутъ далеко преобладающимъ видомъ лѣса является хвойный. Выше мы видѣли, что, существуютъ указанія на сравнительно небольшое испареніе хвойныхъ лѣсовъ. Впрочемъ этотъ вопросъ нужно считать еще открытымъ.

Наконецъ, мы должны еще упомянуть о томъ, что Воейковъ склоненъ приписать небольшую величину „осадки — стокъ“ Невскаго бассейна конденсаціи паровъ поверхностью Ладожскаго озера, увеличивающей величину стока безъ того, чтобы увеличивалось измѣряемое дождемѣрами количество осадковъ. Но мы выше видѣли, что и эта причина, повидимому, далеко недостаточна для объясненія столь значительной разницы.

Пожалуй наиболѣе вѣроятнымъ является допущеніе, что величины осадки—стокъ въ данныхъ бассейнахъ не представляютъ собою истинныхъ величинъ испаренія этихъ бассейновъ, но значительно ниже послѣднихъ. Это можетъ происходить или вслѣдствіе систематическихъ погрѣшностей при измѣреніи стока или осадковъ (въ бассейнѣ Дальэльфа, напр. почти совсѣмъ нѣтъ горныхъ дождемѣрныхъ станцій) или

вслѣдствіе подземнаго притока влаги изъ окружающихъ бассейновъ. Къ сожалѣнію у Воейкова, у котораго Fritzsche заимствовалъ данныя о басс. р. Невы (Климаты земного шара) не указано источника, откуда величина стока взята.

Въ пользу нашего предположенія, что дѣйствительная величина испаренія бассейна р. Невы больше указанной величины „осадковъ — стокъ“, говоритъ и весьма интересная попытка Рыкачева¹⁾ опредѣлить величину испаренія съ поверхности большого силурійскаго плато (2000 □ верстъ въ южной части Петербургской и восточной части Эстляндской губ.), на основаніи показаній испарителей его системы съ дерномъ. Величина испаренія измѣрялась въ Павловскѣ и въ Власовѣ, причемъ въ холодное время года, когда не производилось наблюдений надъ испарителями Рыкачева, испареніе въ природѣ принималось равнымъ показаніямъ атмографа съ водою (resp. льдомъ). Количество осадковъ опредѣлялось большимъ числомъ дождемѣрныхъ станцій распределенныхъ по поверхности разсматриваемаго района. Въ результатъ получились слѣдующія величины осадковъ, испаренія и разности, „осадки — испареніе“ (идущей на питаніе рѣкъ) для всей области:

	осадки	испареніе	разность
	май — ноябрь		
1905 :	491 mm	343 mm	148 mm
1906 :	515	396	119
Среднее	503	370	133
	декабрь — апрѣль		
1905/06	190	47	143
	годъ		
	693	417	276

Чтобы получить многолѣтнія среднія испаренія и стока данной области, Рыкачевъ поступилъ слѣдующимъ образомъ: Въ Павловскѣ за тотъ же періодъ времени получились среднія годовыя величины: осадки: 633 mm; испареніе: 403; разность: 230; коэффициентъ питанія рѣкъ 36⁰/₀. Соответствующія же 30-ти лѣтнія среднія (1878—1907) для Павловска равны: 600; 425; 175; 29⁰/₀ 30-ти лѣтнія среднія осадковъ

1) См. Матеріалы по вопросу о переустройствѣ водоснабженія гор. С.-Петербурга. Исслѣдованія въ районѣ ключевыхъ источниковъ. Отдѣлъ метеорологическій Приложенія къ Извѣстіямъ Спб. Городской Думы. 1907—1909.

всего району равны 657 мм. При предположении, что переходъ отъ періода 1905/06 къ 30-ти лѣтнему во всемъ районѣ совершается въ такомъ же отношеніи, какъ и для Павловска, получаются слѣдующія 30-ти лѣтнія среднія для разсматриваемой области: осадки: 657 мм; испареніе 441; разность 216; коэффициентъ питанія рѣкъ: 33%. Мы видимъ, что испареніе получилось значительно большее вышеприведенной величины для Невскаго бассейна (441 мм противъ 158). Конечно, найденная указаннымъ способомъ величина испаренія не можетъ считаться точной, хотя бы уже потому, что она относится только къ испаренію съ дерна; испареніе же другихъ видовъ растительнаго покрова будетъ, какъ мы знаемъ, нѣсколько иное; (между прочимъ, какъ показали опыты въ Власовѣ же съ испарителями Рыкачева въ 1905 г., испареніе съ почвы, покрытой овсомъ, больше, съ чернаго пара меньше испаренія съ дерна)¹⁾. Тѣмъ не менѣе, нужно полагать, что вышеприведенныя величины даютъ хотя бы приблизительное представленіе объ испареніи съ поверхности указаннаго района. Значительная величина испаренія подтверждается какъ наблюденіями надъ уровнемъ грунтовыхъ водъ, такъ и лизиметрическими опытами въ Власовѣ и Хревицѣ (1906 г.), показавшими, что лѣтніе осадки, въ общемъ, почти цѣликомъ испаряются.

Интересно приложить и къ данному случаю нашу формулу испаренія; при этомъ мы должны немного измѣнить коэффициенты нашихъ полугодовыхъ формулъ, ибо онѣ относятся къ полугодіямъ съ мая по октябрь и съ ноября по апрѣль, между тѣмъ какъ осадки даны намъ для періодовъ май — ноябрь и декабрь — апрѣль. Такъ какъ для ноября, какъ видно изъ мѣсячныхъ формулъ испаренія, мы полагаемъ возможный максимумъ испаренія, приходящійся на 1 мм недостатка насыщенія, равнымъ 16 мм, то, очевидно, въ данномъ случаѣ наши формулы испаренія примутъ слѣдующій видъ:

$$\text{XII—IV: } z = 80 d_1 \operatorname{tgh} \frac{x}{80 d_1};$$

$$\text{V—XI: } z = 148 d_2 \operatorname{tgh} \frac{x}{148 d_2};$$

1) Власовъ. Къ вопросу объ испареніи съ поверхности почвы въ естественномъ ея состояніи. Почвовѣдніе 1910.

Опредѣляя недостатокъ насыщѣнія для Павловска по мѣсячнымъ среднимъ относительной и абсолютной влажности, мы получаемъ для разсматриваемаго промежутка времени слѣдующія величины: 1905: V—XI: 2,29 mm; 1906, V—XI: 2,52 mm; 1905/06, XII—IV: 0,67 mm. Чтобы найти приблизительныя поправки этихъ величинъ, опредѣлимъ для Юрьева отношенія вычисленныхъ тѣмъ же способомъ недостатковъ насыщѣнія къ истиннымъ величинамъ, пользуясь тѣмъ что для Юрьева публикуются истинныя значенія недостатка насыщѣнія. Указанныя отношенія получаются равными: 1905, V—XI: 1,11; 1906, V—XI: 1,11; 1905/06, XII—IV: 1,09. Помножая найденныя для Павловска величины недостатка насыщѣнія на эти множители, мы получаемъ окончательно: 1905, V—XI: 2,55 mm; 1906, V—XI: 2,79 mm; 1905/06, XII—IV: 0,73 mm¹⁾. Подставляя эти величины и данныя объ осадкахъ въ формулы для испаренія, находимъ слѣдующія величины испаренія: 1905, V—XI: 325 mm; 1906, V—XI: 350 mm; въ среднемъ за V—XI: 337 mm; 1905/06, XII—IV: 58 mm. Въ среднемъ за годъ мы получаемъ, слѣдовательно: осадки 693 mm; испареніе: 395 mm; разность 298 mm; коэффициентъ питанія рѣкъ 43%, между тѣмъ какъ соотвѣтствующія данныя Рыкачева, какъ мы видѣли, равны: 693; 417; 276; 40%. Согласіе между результатами, полученными по тому и другому способу, нужно признать вполне удовлетворительнымъ, особенно, если принять во вниманіе, что они могутъ имѣть лишь характеръ приближенія.

Приложимъ нашу формулу еще къ бассейну р. Оки до Орла. Вычисляя недостатокъ насыщѣнія для г. Орла по вышеуказанному способу, мы получаемъ въ среднемъ за 1885—1897 г. слѣдующія величины

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,31	0,36	0,56	1,48	4,08	4,34	5,47	4,45	2,39	1,17	0,43	0,30

Поправка, какъ мы уже выше указали, вычисляется по уравненію: $d_1 - d = 0,234 d - 0,054$. Пользуясь этимъ уравненіемъ, получаемъ окончательно для недостатка насыщѣнія:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	годъ
0,33	0,39	0,64	1,77	4,98	5,30	6,69	5,44	2,90	1,39	0,48	0,32	2,55

1) Примѣчаніе. Если бы мы воспользовались приведеннымъ на стр. 159 уравненіемъ для вычисленія поправокъ недостатка насыщѣнія для Юрьева, то мы получили бы соотвѣтственно: 2,55; 2,81; 0,70; т. е. почти то же самое.

Для полугодій мы получаемъ слѣдующія величины недостатка насыщенья: XI—IV: 0,64 мм V—X: 4,45. Соответствующія количества осадковъ равны 198 мм и 353 мм. На основаніи этихъ данныхъ, вычисляются величины испаренья: для зимняго полугодія: 61,1 мм; для лѣтняго 316,0 мм; для цѣлаго года: 377 мм. Измѣренія же, согласно Гейнцу, даютъ среднюю величину стока равной 113 мм, а величину осадки — стокъ равной 438 мм, т. е. на 61 мм или 14% большую. Относительно этой большой разницы нужно замѣтить, что она объясняется совокупнымъ вліяніемъ нѣсколькихъ причинъ. Во-первыхъ, нужно полагать, что величина стока 113 мм по Гейнцу ниже дѣйствительной вслѣдствіе того, что площадь бассейна принята слишкомъ большою. Гидротехническимъ отдѣломъ экспедиціи для изслѣдованія источниковъ главнѣйшихъ рѣкъ Россіи, она принята равной 4279 кв. верстамъ; тогда средній годовой расходъ 57 милл. куб. саж. соотвѣтствуетъ слою воды въ 113 мм. Какъ указываетъ однако Никитинъ¹⁾, многочисленныя и независимыя другъ отъ друга вычисленія гидрогеологическаго, лѣсоводственнаго и геодезическаго отдѣловъ даютъ для этой площади довольно согласныя величины 3700—3800 кв. вер. Принимая на основаніи этого площадь бассейна равной 3750 кв. в., мы должны увеличить величину стока на 14%. Такимъ образомъ получаемъ слѣдующія исправленныя величины:

	осадки	стокъ	осадки — стокъ
XI—IV:	198 мм	109,4 мм	88,6 мм
V—X:	353 „	19,4 „	333,6 „
Годъ:	551 „	129 „	422 „

Слѣдовательно разница между вычисленнымъ испареньемъ и осадками — стокъ значительно уменьшилась и равна 45 мм или 11%. Эта разница (если оставить въ сторонѣ предположеніе Никитина (l. c.) о значительной подземной потерѣ воды изъ бассейна Оки, т. к. мы объ этой подземной потерѣ ничего опредѣленнаго не знаемъ) отчасти объясняется тѣмъ, что въ бассейнѣ р. Оки осадки зимняго полугодія не расходуются цѣликомъ въ теченіе этого полугодія на стокъ и испареніе; часть ихъ остается въ почвѣ и

1) См. Бассейнъ Оки. Изслѣдованія Гидрогеологическаго отдѣла. 1905. р. 114.

расходуется въ теченіе лѣтняго полугодія. На основаніи вышеприведенныхъ чиселъ, мы можемъ приблизительно вычислить количество влаги, передаваемой отъ зимняго полугодія лѣтнему и представляющее собою среднюю разницу запаса влаги бассейна 1-го мая и 1-го ноября. Мы видѣли, что испареніе зимняго полугодія можно считать равнымъ 61 мм; стокъ равенъ 109 мм. Сумма испареніе + стокъ = 170 мм; осадки равны 198 мм. Слѣдовательно, отъ зимнихъ осадковъ остается избытокъ, равный 28 мм, передаваемый лѣтнему полугодію. Эта величина показываетъ намъ, слѣдовательно, на сколько въ среднемъ запасъ влаги въ началѣ лѣтняго полугодія (1-го мая) больше, чѣмъ въ началѣ зимняго (1-го ноября). На самомъ дѣлѣ, этотъ избытокъ будетъ вѣроятно больше, если принять во вниманіе, что количество зимнихъ осадковъ, вслѣдствіе недолавливанія осадковъ дождемѣрами будетъ больше 198 мм. Замѣтимъ, что такого перехода влаги отъ зимняго полугодія къ лѣтнему въ западно-европейскихъ бассейнахъ (Эльбы и Залы) не наблюдается. Въ бассейнѣ Эльбы, напр., количество осадковъ въ зимнее полугодіе даже значительно больше чѣмъ въ бассейнѣ Оки (244 противъ 198 мм); тѣмъ не менѣе, отъ него не остается замѣтнаго количества влаги для лѣтняго полугодія, ибо испареніе + стокъ въ теченіе зимняго полугодія равна $130 + 117 = 247$ мм, т. е. приблизительно равно количеству осадковъ. Для бассейна Залы мы имѣемъ количество осадковъ въ теченіе зимняго полугодія равное 228 мм; испареніе + стокъ = $117 + 105 = 222$ мм, т. е. также приблизительно равно количеству осадковъ. Главная разница, какъ мы видимъ, заключается въ величинѣ зимняго испаренія. Въ бассейнѣ Эльбы, напр., испареніе въ теченіе зимняго полугодія болѣе, чѣмъ въ два раза превосходитъ испареніе въ бассейнѣ Оки (130 мм противъ 61 мм).

Принимая въ расчетъ указанное количество влаги, получаемое лѣтнимъ полугодіемъ отъ зимняго, и придавая его къ величинѣ лѣтняго испаренія, получаемъ для послѣдняго $316 + 28 = 344$ мм и для годовой величины испаренія $344 + 61 = 405$ мм, т. е. все еще на 17 мм меньше дѣйствительной (422 мм). Эта разница, точно также, какъ и переходъ влаги отъ зимняго полугодія къ лѣтнему (или разница между запасомъ влаги къ концу зимняго полугодія и къ концу лѣтняго полугодія), обусловливаются большою испа-

ряемостью климата въ лѣтнее полугодіе, которая больше, чѣмъ при томъ же недостаткѣ насыщѣнія въ западно-европейскихъ бассейнахъ (напр. въ бассейнѣ богемской Эльбы, гдѣ недостатокъ насыщѣнія, какъ мы выше видѣли, приблизительно тотъ же). Повидимому, это объясняется болѣе интенсивною инсоляціею въ бассейнѣ Оки, чѣмъ въ бассейнѣ Эльбы. Къ сожалѣнію мы для сужденія объ этомъ прямыхъ данныхъ не имѣемъ. Мы можемъ однако указать на косвенное доказательство, именно облачность. Облачность дѣйствительно, насколько можно полагаться на данныя этой величины, въ теченіе лѣтнихъ мѣсяцевъ оказывается въ Орлѣ значительно меньшей, чѣмъ въ Прагѣ. Приводимъ данныя для мѣсяцевъ съ мая по августъ въ теченіе періода 1901—1907.

	V	VI	VII	VIII
1901 Прага :	6,2	6,6	7,1	6,6
Орель :	6,5	4,9	5,9	6,2
1902 Прага :	7,8	7,0	7,6	7,3
Орель :	7,3	6,9	7,3	6,4
1903 Прага :	6,9	7,3	7,5	6,7
Орель :	6,9	6,8	5,8	5,2
1904 Прага :	6,6	6,9	5,3	6,3
Орель :	6,6	6,9	6,2	6,2
1905 Прага :	7,5	7,0	7,1	7,8
Орель :	5,2	4,7	6,2	5,2
1906 Прага :	7,8	8,4	8,0	7,5
Орель :	6,3	5,3	7,1	5,9
1907 Прага :	7,3	8,4	8,2	7,8
Орель :	5,2	6,3	6,8	6,3.

Мы видимъ, что изъ приведенныхъ 28 мѣсяцевъ, 23 мѣсяца показываютъ меньшую облачность въ Орлѣ, и только въ 5-ти случаяхъ облачность въ Орлѣ равна или больше облачности въ Прагѣ. Весьма вѣроятно, что въ коэффициентъ нашей формулы показывающій величину максимальнаго испаренія на 1 mm недостатка насыщѣнія, слѣдовало бы ввести поправочный членъ, зависящій отъ инсоляціи, подобно тому, какъ онъ имѣется въ формулѣ Рыкачева; однако, за недостаткомъ данныхъ, мы отказались ввести его.

Выведемъ теперь изъ нашего уравненія различную зависимость испаренія и стока отъ осадковъ и остальныхъ климатическихъ факторовъ въ бассейнахъ I-го и II-го типа (см. гл. II).

Очевидно, чтобы найти зависимость отъ осадковъ, мы должны образовать $\frac{\partial z}{\partial x}$ и $\frac{\partial y}{\partial x}$; для опредѣленія же вліянія остальныхъ климатическихъ факторовъ опредѣлить $\frac{\partial z}{\partial z_0}$ и $\frac{\partial y}{\partial z_0}$, ибо z_0 (возможный максимум испаренія) зависитъ отъ этихъ факторовъ.

Дифференцируя равенства

$$z = z_0 \operatorname{tgh} \frac{x}{z_0}; \quad y = x - z_0 \operatorname{tgh} \frac{x}{z_0};$$

мы получаемъ :

$$\frac{\partial z}{\partial x} = 1 - \operatorname{tgh}^2 \frac{x}{z_0}; \quad \frac{\partial y}{\partial x} = \operatorname{tgh}^2 \frac{x}{z_0};$$

$$\frac{\partial z}{\partial z_0} = \operatorname{tgh} \frac{x}{z_0} - \frac{x}{z_0} \left(1 - \operatorname{tgh}^2 \frac{x}{z_0} \right);$$

$$\frac{\partial y}{\partial z_0} = - \operatorname{tgh} \frac{x}{z_0} + \frac{x}{z_0} \left(1 - \operatorname{tgh}^2 \frac{x}{z_0} \right);$$

$$\text{Для } x = 0 \quad \frac{\partial z}{\partial x} = 1; \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial z}{\partial z_0} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial z_0} = 0;$$

$$\text{Для } x = \infty \quad \frac{\partial z}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial y}{\partial x} = 1; \quad \frac{\partial z}{\partial z_0} = 1; \quad \frac{\partial y}{\partial z_0} = -1;$$

Очевидно, изъ этого слѣдуетъ, что при осадкахъ незначительныхъ (по сравненію съ возможнымъ максимумомъ испаренія, $x = 0$ или $\frac{x}{z_0} = 0$), т. е. въ бассейнахъ I-го типа испареніе зависитъ почти только отъ осадковъ, вліяніе же остальныхъ климатическихъ факторовъ вообще незамѣтно. Въ бассейнахъ же II-го типа ($x = \infty$, т. е. осадки велики по сравненію съ возможнымъ испареніемъ) испареніе не зависитъ отъ осадковъ, а только отъ остальныхъ климатическихъ факторовъ, стокъ же въ одинаковой степени зависитъ и отъ осадковъ и отъ остальныхъ климатическихъ факторовъ.

Глава IX.

Круговоротъ влаги на сушѣ и на океанахъ.

Разсмотримъ, въ заключеніе, попытки опредѣлить общій балансъ круговорота влаги на всей землѣ. Такая попытка

сдѣлана впервые Брикнеромъ (см. Почвовѣдніе 1905 стр. 177—193: Балансъ круговорота воды на землѣ) и въ 1906 г. повторена по тому же способу Fritzsche (Niederschlag, Abfluss und Verdunstung auf den Landflächen der Erde. Halle 1906). Брикнеръ исходитъ при этомъ изъ слѣдующихъ соображеній. Во первыхъ, годовое количество воды испаряющейся съ поверхности всего земного шара, въ среднемъ должно равняться годовому количеству осадковъ на всей землѣ. Это ясно само собою, ибо сколько испаряется въ атмосферу, столько же должно возвратиться изъ атмосферы на землю, т. к. влага не можетъ безгранично накапливаться въ атмосферѣ (запасъ влаги въ атмосферѣ весьма малъ по сравненію съ годовымъ количествомъ осадковъ) или улетучиваться изъ атмосферы въ міровое пространство въ замѣтномъ количествѣ. Но, хотя равенство между испареніемъ и осадками вѣрно для всей земли, оно престааетъ быть вѣрнымъ если мы рассматриваемъ отдѣльно сушу и океанъ. При обмѣнѣ воздушныхъ теченій съ океана на сушу и съ суши на океанъ, суша получаетъ нѣкоторый избытокъ паровъ, осаждающихся на ней; поэтому количество осадковъ на сушѣ больше испаренія съ суши, на океанѣ же количество осадковъ на ту же величину уступаетъ величинѣ испаренія съ его поверхности. Чтобы опредѣлить избытокъ пара, перешедшій на сушу, нужно принять во вниманіе слѣдующее обстоятельство: все, что испаряется съ океана, должно опять возвратиться въ него, иначе должно было бы происходить прогрессивное пониженіе уровня океана, чего въ дѣйствительности не наблюдается. Значитъ и то количество пара, которое, при обмѣнѣ паровъ суши и океана, океанъ ежегодно отдаетъ сушѣ, должно въ него возвращаться; возвращеніе же это совершается стокомъ воды съ суши въ океанъ, какъ поверхностнымъ въ видѣ рѣкъ, такъ и подземнымъ. Послѣдняя часть, по сравненію съ первой, вѣроятно, незначительна; поэтому можемъ принять, что количество влаги получаемой сушею отъ океана, равно расходу рѣкъ изливающихся въ океанъ. Такимъ образомъ, мы получаемъ слѣдующую схему круговорота влаги на землѣ: количество испаренія съ океана равно количеству осадковъ на океанѣ + расходъ рѣкъ, изливающихся въ океанъ; испареніе съ суши = осадкамъ на сушѣ — расходъ рѣкъ. Изъ этихъ 5 величинъ Брикнеръ нашелъ возможнымъ вычислить 3 величины: именно, испареніе съ океана, количество осадковъ на сушѣ

и расходъ рѣкъ, изливающихся въ океанъ. Тогда, посредствомъ вышеприведенныхъ 2-хъ уравненій, опредѣляются и 2 остальные величины: количество осадковъ на океанѣ и испареніе съ суши. Наконецъ, складывая испареніе съ суши и испареніе съ океана, получаемъ испареніе съ поверхности всей земли, равное количеству осадковъ на всей землѣ.

Замѣтимъ далѣе, что суша можетъ быть раздѣлена на 2 области, что касается характера круговорота влаги: на область лишенную стока въ океанъ, и область, обладающую стокомъ или периферическую. Въ первой области испареніе столь значительно, что осадки цѣликомъ испаряются и ничего не остается для стока, слѣд., въ этой области испареніе и осадки равны по количеству. Во второй области испареніе меньше количества осадковъ, и, какъ слѣдуетъ изъ предыдущаго, имѣетъ мѣсто равенство: осадки = испареніе + стокъ, или испареніе = осадки — стокъ.

Изъ вышеупомянутыхъ 3-хъ исходныхъ величинъ, испареніе съ океана, осадки на сушѣ и стокъ съ суши, послѣднія 2 величины Брикнеръ заимствовалъ у Murray (On the total annual Rainfall of the Land on the Globe. *Scottish Geogr. Magazine*. Vol III. 1887). Послѣдній опредѣлилъ количество осадковъ на сушѣ на основаніи карты осадковъ Loomis'a. Величину же стока съ суши онъ опредѣлилъ принимая, на основаніи данныхъ о стокахъ 33 рѣкъ, общій средній коэффициентъ стока для всей периферической области суши равнымъ 22%. Испареніе съ поверхности океана Брикнеръ опредѣляетъ на основаніи опытовъ надъ испареніемъ, произведенныхъ на сушѣ. Изъ подобныхъ опытовъ принимались во вниманіе лишь относящіеся къ прудамъ и озерамъ или болѣе или менѣе значительнымъ резервуарамъ, врытымъ въ землю. Опыты же надъ свободно экспонированными эвапорометрами не принимались въ расчетъ. Кромѣ того, исключались наблюденія въ континентальныхъ, сухихъ странахъ. Данныя 27 опытовъ, удовлетворяющихъ вышеуказаннымъ условіямъ, распредѣлялись по географической широтѣ (по 5-тиградуснымъ зонамъ) и среднее изъ наблюденій данной зоны послѣ уменьшенія на 5%, вслѣдствіе того, что морская соленая вода испаряется медленнѣе, чѣмъ прѣсная вода, употреблявшаяся при опытахъ, принималась за величину испаренія съ поверхности океана, данной зоны. Окончательно

Брикнеръ принимаетъ слѣдующія величины испаренія съ поверхности океана.

Широта	въ см.	въ км ³ сѣв. полуш.	южн. полуш.
0°—10°	160	54458	53846
10°—20°	150	47295	50013
20—30°	130	32599	40153
30—40°	100	20823	32237
40—50°	70	10508	21350
50—60°	40	4410	10160
60—70°	20	1083	3581
70—80°	10	825	750
80—90°	5	145	0

Со всей поверхности океана, по Брикнеру, испаряется ежегодно 384000 км³ или слой воды толщиной въ 105 см., причемъ предѣлы ошибки равны ± 50000 км³.

Fritzsche опредѣлялъ количество осадковъ на сушѣ на основаніи болѣе точной карты осадковъ Зупана; при опредѣленіи величины стока онъ пользовался замѣтно болѣшимъ числомъ рѣчныхъ бассейновъ (52). За величину же испаренія съ океана онъ принялъ безъ измѣненія вышеприведенное число Брикнера. Интересно сравнить результаты обѣихъ работъ, такъ какъ это позволяетъ, хотя бы приблизительно, судить о степени точности полученныхъ данныхъ, хотя нужно замѣнить, что главная величина, испареніе съ океана, заимствована, какъ мы сказали, безъ измѣненія у Брикнера. Приводимъ слѣдующую таблицу изъ работы Фрицше :

А. Вся земля	По Фрицше			Отклоненіе отъ Брикнера		
	км ³	см	‰	км ³	см	‰
510.000.000 км ²						
Испареніе съ океана	384.000	75	82	± 0	± 0	± 2
Испареніе съ суши	81.300	16	18	— 15.700	— 3	— 2
Осадки всей земли	465.300	91	100	— 15.700	— 3	± 0

	По Фрицше			Отклонение отъ Брикнера		
	km ³	cm	%	km ³	cm	%
В. Океанъ	361.000.000 km ²					
Испарение съ океана	384.000	106	100	± 0	+ 1	± 0
Паръ переходящій на сушу	30.640	8	8	+ 5640	+ 1	+ 1
Осадки на океанъ	353.360	98	92	— 5640	± 0	— 1
С. Периферическая область суши 117.000.000 km ²						
Притокъ пара съ океана	30.640	26	43	+ 5640	+ 4	+ 14
Испарение съ периферической области	70.810	61	100	— 16.190	— 15	± 0
Осадки периферической области	101.450	87	143	— 10.550	— 11	+ 14
D. Безсточная область 32.000.000 km ²						
Испарение безсточной области	10.490	33	100	+ 490	± 0	± 0
Осадки безсточной области	10.490	33	100	+ 490	± 0	± 0

Особенно интересно сравнить на основаніи этой таблицы общее количество осадковъ на сушѣ съ количествомъ пара, получаемымъ сушею отъ океана. Какъ видно изъ таблицы, количество осадковъ на сушѣ значительно больше послѣдней величины: (111 940 km³ противъ 30.640 km³ или 100:27); слѣд. испарение съ океана непосредственно даетъ лишь 27 % осадковъ суши; 73 % получаютъ отъ конденсаціи испареній суши. Слѣдовательно, мы можемъ сказать, что частицы воды, пришедшія съ океана, послѣ перваго выпаденія, въ общемъ испаряются и осаждаются еще 2,7 раза (73 : 27 = 2,7) прежде чѣмъ возвратиться въ океанъ, если

оставить безъ вниманія возвращеніе влаги океану въ паробразномъ состояніи. Такимъ образомъ подтверждается мысль, уже раньше высказанная Воейковымъ, о континентальномъ происхожденіи значительной части осадковъ на сушѣ.

Изъ остальныхъ таблицъ Фрицше приводимъ еще слѣдующую таблицу, дающую количество осадковъ и испареніе суши послѣдовательныхъ зонъ шириною въ 10° .

	Осадки	Испареніе	
		Fritzsche	Брикнеръ
50° — 60° с. ш.	504 mm	358 mm	365 mm
40° — 50° „	508 „	331 „	510 „
30° — 40° „	522 „	375 „	835 „
20° — 30° „	786 „	497 „	805 „
10° — 20° „	947 „	794 „	885 „
10° с. ш.— 10° с. ш.	1765 „	1188 „	1375 „
10° ю. ш.— 20° ю. ш.	1100 „	903 „	— „
20° — 30° ю. ш.	638 „	414 „	} 950 „
30° — 40° „	573 „	511 „	

Мы видимъ правильное убываніе осадковъ отъ экватора къ полюсамъ; такой же ходъ показываетъ и величина испаренія. Нѣкоторыя неправильности въ этомъ ходѣ, какъ возрастаніе испаренія въ зонахъ 30° — 40° ю. ш. и 50° — 60° с. в., вѣроятно всего объясняются неточностями исходнаго матеріала, особенно, что касается данныхъ о расходахъ рѣкъ. Если возьмемъ, напр., зону 50° — 60° сѣв. ш., для которой имѣется наибольшее число болѣе или менѣе точно опредѣленныхъ рѣчныхъ расходовъ (впрочемъ нѣтъ ни одного американскаго бассейна), то изъ 753 km^3 расходовъ всѣхъ рѣкъ 403 падаетъ на Волгу и Обь, т. е. бассейны, для которыхъ точность опредѣленія расхода весьма проблематична. Для остальныхъ зонъ точность опредѣленія стока, а слѣд. и испаренія, повидимому, еще меньше. Для сѣверныхъ зонъ величина испаренія въ таблицѣ вѣроятно слишкомъ мала. Особенно это относится къ зонѣ 40° — 50° сш; для которой величина испаренія въ таблицѣ даже меньше, чѣмъ для слѣдующей болѣе сѣверной зоны, не смотря на немного большее количество осадковъ. Отчасти, это объясняется способомъ опредѣленія коэффициента стока отдѣльныхъ зонъ. Послѣдній полагается равнымъ среднему коэффициенту стока (или отношенію осадковъ къ общей суммѣ

расходовъ тѣхъ рѣкъ зоны, для которыхъ извѣстенъ расходъ). Для зоны 40—50° с. ш. получается, напр. въ среднемъ для 13 бассейновъ: осадки 718 мм, стокъ 251 мм, испареніе 467 мм, коэффициентъ стока 34,9%. Принимая для всей зоны тотъ же коэффициентъ стока, получается, при количествѣ осадковъ равномъ 508 мм, стокъ = 177 мм и испареніе 331 мм. Но, при такомъ значительномъ уменьшеніи количества осадковъ коэффициентъ стока нельзя считать постояннымъ; какъ мы знаемъ, съ уменьшеніемъ осадковъ онъ также уменьшается. Поэтому величина испаренія въ дѣйствительности должна быть выше.

Что касается способа опредѣленія величины испаренія съ поверхности океана, то онъ конечно не можетъ претендовать на точность, какъ сознаетъ и самъ Брикнеръ, полагающій, что дѣйствительное испареніе океана будетъ, быть можетъ, нѣсколько ниже вычисленной величины. Въ дѣйствительности, отношеніе испаренія пояса тишины и области пассатовъ по Брикнеру, будетъ обратное, чѣмъ даютъ величины таблицы. Это предложеніе вполне подтвердилось измѣреніями испаренія на морѣ (на палубѣ корабля *Pangani*; см. *Lütgens: Vorläufiger Bericht über eine ozeanographische Forschungsreise. Ann. d. Hydrogr. u. marit. Meteor. 1909 p. 145—153; 1910 p. 167—271*). Какъ показали эти опыты, испареніе въ области пассатовъ, дѣйствительно, значительно больше, чѣмъ въ поясѣ тишины. На основаніи ихъ *Lütgens* принимаетъ испареніе съ поверхности океана равнымъ $1\frac{1}{4}$ м на экваторѣ; $2\frac{1}{2}$ м въ области пассатовъ; $1\frac{1}{4}$ —2 м въ среднихъ и $\frac{1}{2}$ м въ высокихъ широтахъ, т. е. нѣсколько больше, чѣмъ у Брикнера.¹⁾

Принимая во вниманіе все сказанное, нужно придти къ заключенію, что результаты Брикнера и Фрицше. конечно, далеко еще не точны; тѣмъ не менѣе они являются весьма цѣнными, какъ первое приближеніе къ истинѣ.

1) Примѣчаніе. Въ *Ann. der Hydrographie etc. 1911. Heft VIII* появилась новая статья Лютгенса, въ которой онъ, на основаніи новой обработки тѣхъ же данныхъ, принимаетъ испареніе съ поверхности всего океана равнымъ $506\,143\text{ km}^3 = 141,5$ см. Число это, основанное на сравнительно небольшомъ числѣ опытовъ, не можетъ претендовать на точность. Вѣроятно, оно больше дѣйствительности, благодаря тому, что испареніе измѣрялось при помощи лишь небольшого сосуда, находившагося на палубѣ корабля, т. е. на нѣкоторой высотѣ надъ уровнемъ моря.

Заключеніе.

Заканчивая на этомъ разборъ вопроса объ испареніи съ поверхности рѣчныхъ бассейновъ, мы далеки отъ мысли считать нашу работу исчерпывающей всѣ стороны этого вопроса. Въ нашу задачу, конечно, не входило собрать весь матеріалъ, касающійся рѣчного стока; главное наше стремленіе было направлено къ выясненію законовъ испаренія, причѣмъ мы старались не ограничиваться разборомъ лишь качественныхъ соотношеній, управляющихъ процессомъ испаренія, но подойти по возможности къ установленію количественныхъ законовъ (насколько это позволяетъ чрезвычайная сложность вопроса и отсутствіе точныхъ результатовъ наблюдений). Указаннымъ обстоятельствомъ объясняется, почему мы не упоминаемъ о многихъ важныхъ работахъ (также и русскихъ), касающихся рѣчного стока, но не дающихъ точныхъ данныхъ или о величинѣ расхода, или (что чаще) о величинѣ осадковъ въ бассейнѣ. Впрочемъ, мы надѣемся въ будущемъ восполнить этотъ пробѣлъ.

Въ таблицахъ, приложенныхъ ниже, мы даемъ годовыя величины осадковъ, стока и испаренія (а также и многолѣтнія мѣсячныя среднія) для рѣчныхъ бассейновъ русскихъ, западно-европейскихъ и американскихъ¹⁾ съ болѣе или менѣе продолжительнымъ періодомъ наблюдений; (на основаніи ихъ сдѣланы наши чертежи). Въ эту таблицу входятъ, конечно, не всѣ рѣки, для которыхъ опредѣлялась величина стока. Замѣтимъ, что таблицу расходовъ рѣкъ, правда, нѣсколько устарѣвшую, даетъ Реклю въ своей извѣстной Географіи (таблица эта вошла между прочимъ, и въ Курсъ Землевѣдѣнія Краснова). Болѣе надежныя данныя для средне-европейскихъ рѣкъ даетъ таблица Келлера, которою мы воспользо-

1) Въ виду многочисленности сѣверо-американскихъ бассейновъ, мы изъ работы Рафтера цѣликомъ приводимъ данныя лишь для 2-хъ бассейновъ съ наибольшимъ періодомъ лѣтъ; для остальныхъ даются многолѣтнія среднія.

вались въ главѣ VI. Таблицу измѣреній расходовъ рѣкъ въ Соединенныхъ Штатахъ даетъ Newell (см. 20. Annual Rep. U. S. Geological Survey), но большею частью безъ указанія величины осадковъ (или съ лишь очень приближенною величиною ихъ). Наконецъ, мы уже выше упомянули о таблицѣ Фрицше, дающей стокъ и осадки для 52 бассейновъ всего земного шара¹⁾. Большинство этихъ данныхъ, однако, не вошло въ наши таблицы, или вслѣдствіе незначительности періода наблюдений, или вслѣдствіе ненадежности измѣреній стока, или потому, что не приведены величины осадковъ.

1) Относительно таблицы Фрицше нужно еще замѣтить, что величины осадковъ даны въ ней на основаніи извѣстной карты осадковъ Зупана (Pettermann's Mitt. Ergänzungs-Heft. 1898). Карта эта, конечно, незамѣнима при работахъ, касающихся количества осадковъ всей суши. Однако, для точнаго опредѣленія количества осадковъ отдѣльныхъ рѣчныхъ бассейновъ масштабъ ея слишкомъ малъ, вслѣдствіе чего ходъ изогіетъ слишкомъ схематиченъ).

Таблицы величинъ осадковъ и стока. 1)

Бассейнъ Богемской Эльбы. 2)

Богемская Эльба				Молдава		
	осадки	стокъ	испареніе	осадки	стокъ	испареніе
1876	644 mm	234 mm	410 mm	627 mm	190 mm	437 mm
1877	630	172	458	627	132	495
1878	644	166	478	667(681)	125	542(556)
1879	692	178	514	654	171	483
1880	823	240	583	790	225	565
1881	664	200	464	654	188	466
1882	803	207	596	749	176	573
1883	630	190	440	572	158	414
1884	678	171	507	661	135	526
1885	561	126	435	558	112	446
1886	727	180	547	742	183	559
1887	547	125	422	558	111	447
1888	789	243	546	790	257	533
1889	678	186	492	640	164	476
1890	858	268	590	892(906)	315	577(591)

Среднія величины:

Весь басс. богемск. Эльбы	осадки	стокъ	исп.	коэф. стока
(1876/90)	692	192	500	27,8%
бассейнъ Молдавы (1876/90) .	679(681)	177	502(504)	26,0%
бассейнъ Малой Эльбы (1880/90)	762	238	524	31,3%
бассейнъ р. Эгера (1880/90) .	696	214	482	30,8%

Мѣсячныя среднія осадковъ:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Эльба .	33	31	44	47	63	87	90	84	70	54	44	45
Молдава	30	29	42	46	62	90	87	86	71	52	43	43

Мѣсячныя среднія стока:

Эльба .	14	17	33	25	17	13	10	11	12	12	12	16
Молдава	13	16	28	20	16	13	9	11	15	12	11	13

1) Во всѣхъ нижеслѣдующихъ таблицахъ величина „осадки — стокъ“ для краткости обозначается черезъ „испареніе.“

2) Репск. См. литер. № 1.

Зала. 1)

	годъ (съ ноебря до ноебря)			зимнее полугодіе XI—IV			лѣтнее полугодіе V—X		
	осадки	стокъ	испар.	осадки	стокъ	испар.	осадки	стокъ	испар.
1881/82	705	207	498	141	70	71	564	137	427
82/83	580	241	349	234	175	59	346	56	290
83/84	619	167	452	237	115	122	382	52	330
84/85	570	166	404	221	124	97	349	42	307
85/86	579	157	422	228	104	124	351	53	298
86/87	577	143	434	225	86	139	352	57	295
87/88	677	187	490	322	124	198	355	63	292
88/89	659	180	479	235	112	123	424	68	356
89/90	571	132	439	180	83	97	391	49	342
90/91	630	196	434	266	124	142	364	72	292
91/92	472	122	350	215	92	123	257	30	227
92/93	511	87	424	172	63	109	339	24	315
93/94	658	130	528	183	59	124	475	71	404
94/95	542	173	369	220	123	97	322	50	272
95/96	717	175	542	296	103	193	421	72	349
96/97	631	177	454	215	105	110	416	72	344
97/98	618	196	422	276	132	144	342	64	278
98/99	656	170	486	173	70	103	483	100	383
99/00	626	170	456	234	110	124	392	60	332
1900/01	657	194	461	280	126	154	377	68	309
Среднее	613	168	445	228	105	123	385	63	322

Мѣсячныя среднія:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
осадки .	36	31	43	40	61	69	87	60	51	56	39	41
стокъ .	15	18	28	18	14	10	11	7	9	11	12	15

1) У1е. См. литер. № 14.

Днѣпръ (до Кіева) ¹⁾ (съ ноября до ноября)			
осадки стокъ испар.			
1876/77	636	622	374
77/78	496	167	329
78/79	706	231	475
79/80	513	156	357
80/81	472	134	338
81/82	483	95	388
82/83	611	172	439
83/84	504	118	386
84/85	578	99	479
85/86	452	136	316
86/87	628	101	527
87/88	522	186	336
88/89	606	146	460
89/90	525	128	397
90/91	492	122	370
91/92	488	91	397
92/93	595	122	473
93/94	606	107	499
94/95	563	196	367
95/96	591	169	422
96/97	530	132	398
97/98	500	91	409
98/99	607	78	529
99/00	485	140	345
1900/01	538	93	445
01/02	660	121	539
02/03	593	104	489
03/04	436	79	357
04/05	641	125	516
Среднее	547	125	422
за 26 лѣтъ.			

Ока (до Орла) ²⁾ (съ августа до августа)			
осадки стокъ испар.			
1884/85	430	73	357
85/86	772	93	679
86/87	476	75	400
87/88	760	144	616
88/89	547	142	405
89/90	543	81	462
90/91	385	81	305
91/92	468	108	360
92/93	576	167	409
93/94	543	71	472
94/95	674	189	485
95/96	568	125	443
96/97	466	140	326
Среднее	555	114	441

Среднія мѣсячныя осадковъ:

Днѣпръ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	годъ
1876—1908	26	25	30	37	52	74	86	65	47	47	35	35	559
Ока . . .	25	25	35	38	45	60	85	65	55	43	37	38.	

Среднія мѣсячныя стока:

Днѣпръ													годъ
1876—1908	8	7	10	33	36	11	6	5	4	5	6	7	137
Ока. . .	2,8	4,3	58,4	26	2,9	3,4	3,1	2,3	2,2	2,7	2,8	2,1	

1) Оппоковъ. Литерат. № 8.

2) Гейнцъ. Литерат. № 18. См. также замѣчанія на стр. 171.

Майнъ ³⁾				Дальэльфъ ⁴⁾			
	осадки	стокъ	испар.		осадки	стокъ	испар.
1886	705	182	523	1894	677	515	162
87	500	169	331	95	761	581	180
88	727	235	492	96	684	512	172
89	670	207	463	97	681	463	218
90	693	205	488	98	733	576	157
91	659	191	468	99	597	463	134
92	560	159	401	1900	533	342	191
93	593	147	446	01	436	267	169
94	718	169	549	02	547	396	151
95	670	198	472	03	613	475	138
96	660	181	479	04	472	342	130
97	683	199	484				
Среднее	657	187	470	Среднее	612	449	163

Майнъ. Мѣсячныя среднія:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
осадки .	41	37	49	40	58	80	81	63	53	61	42	52
стокъ .	22	20	31	18	14	12	10	9	9	12	13	17

Дальэльфъ. Мѣсячныя среднія:

осадки .	28	29	40	30	47	63	89	98	59	60	35	42
стокъ .	18	13	15	35	90	61	45	44	37	38	33	25

3) Ule. Литерат. № 14.

4) Wallén. Литерат. № 31.

Бассейнъ Тиссы. ¹⁾

	1891	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	Сред- нее.
Тисса — до Тиссы-Уй-лака (9535 км ²).											
осадки	1071	1217	1189	1162	1421	1140	1199	1036	1230	1066	1174
стокъ	516	500	646	528	836	712	603	453	707	497	600
испареніе	555	717	543	634	585	418	596	583	523	569	574
температура	-0,3	0	-0,6	+0,2	-0,1	-0,5	+0,1	+0,7	-0,3	+1,1	7,83
Тисса — до Ташкони (66800 км ²).											
осадки	772	797	832	739	912	770	835	692	827	777	795
стокъ	251	247	307	203	348	253	300	195	225	254	258
испареніе	521	550	525	536	564	517	535	497	602	523	537
температура	-0,4	+0,1	-0,8	+0,15	-0,2	-0,35	0	+0,75	-0,15	+1,15	8,65
Тисса — между Тисса-Уй-лакомъ и Ташконью (57265).											
осадки	736	717	780	650	811	708	780	630	758	744	732
стокъ	207	205	251	149	266	177	249	132	145	214	202
испареніе	529	512	529	501	545	531	531	478	613	530	530
температура	-0,4	+0,2	-0,9	+0,15	-0,2	-0,25	0	+0,8	-0,1	+1,05	8,9
Тисса — до Сегедина (138130 км ²).											
осадки	676	714	734	635	815	702	774	619	727	699	710
стокъ	193	188	222	147	257	186	254	156	173	188	196
испареніе	483	526	412	488	558	516	520	463	554	511	514
температура	-0,4	+0,2	-0,9	+0,1	-0,2	-0,3	0	+0,7	-0,1	+1,1	9,1
Тисса — между Ташконью и Сегединомъ (71330 км ²).											
осадки	578	640	638	522	724	649	742	552	626	633	631
стокъ	138	134	143	96	171	224	211	119	124	125	138
испареніе	440	506	495	426	553	525	531	433	502	508	493
температура	-0,45	+0,45	-0,9	0	-0,25	-0,25	-0,15	+0,7	-0,15	+1,0	10,0

1) Vidjevich. Литерат. № 19.

Бассейнъ р. Марха¹⁾ (Моравы).

р. Мархъ до Напайедля поверхность 7889 km ² .				р. Мархъ до Ангерна поверхность 25.646 km ²		
	осадки	стокъ	испар.	осадки	стокъ	испар.
1881	630	205	425			
1882	804	229	575			
1883	673	261	412			
1884	594	200	394			
1885	652	221	431			
1886	673	219	454			
1887	608	161	447			
1888	811	282	529			
1889	796	260	536			
1890	753	226	527			
1891	738	310	428			
1892	746	252	494	648	145	503
1893	565	195	370	504	115	389
1894	623	130	493	576	77	499
1895	775	235	540	700	141	559
1896	717	275	442	641	161	480
1897	804	296	508	706	182	524
1898	688	199	489	621	112	509
1899	760	200	560	687	120	567
1900	833	327	506	733	224	509
1901	702	250	452	615	131	484
1902	767	249	518	635	124	511
1903	941	403	538	811	214	597
1904	710	258	452	621	162	459
1905	738	294	444	654	169	485
Средн.	724	246	478	654	148	506

Мѣсячныя среднія осадковъ:

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мархъ до Напайедля:	39	35	41	52	69	84	95	83	66	66	51	43
„ „ Ангерна:	35	29	38	49	65	78	86	75	59	57	45	38

Мѣсячныя среднія стока:

Мархъ до Напайедля:	18	22	41	34	24	16	15	15	11	14	17	19
„ „ Ангерна:	11	16	27	23	18	10	7	7	5	6	7	11

1) См. стр. 127.

Бассейнъ р. Susquehanna.¹⁾

I = до Harrisburg 62211 km²;
 II = до Wilkes-Barre 25408 km²;
 III = до Williamsport 14608 km²;

	осадки			стокъ			испареніе		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1891/92	45,17	—	—	24,90	—	—	20,27	—	—
1892/93	39,57	—	—	20,85	—	—	18,72	—	—
1893/94	39,01	—	—	21,06	—	—	17,95	—	—
1894/95	33,74	—	—	20,20	—	—	13,54	—	—
1895/96	37,57	—	37,46	16,53	—	16,57	21,04	—	20,89
1896/97	36,66	—	39,79	19,04	—	21,74	17,62	—	18,05
1897/98	39,77	—	40,27	21,26	—	23,00	18,51	—	17,27
1898/99	39,75	—	41,15	20,02	—	20,69	19,73	—	20,46
1899/00	31,62	31,77	33,04	16,34	15,15	17,34	15,28	16,62	15,70
1900/01	42,47	42,89	44,11	22,22	24,28	24,18	20,25	18,61	19,93
1901/02	43,75	44,13	43,79	25,71	27,09	27,58	18,04	17,04	16,21
1902/03	44,87	41,70	43,73	28,03	27,18	27,60	16,84	14,52	16,13
1903/04	40,84	41,91	42,51	21,07	27,13	25,86	19,77	14,78	16,65
1904/05	36,49	36,73	34,30	18,26	18,35	18,01	18,23	18,38	16,29
Среднее	39,38	39,85	40,02	21,09	23,19	22,26	18,29	16,66	17,76

Бассейнъ р. Potomac.¹⁾

I = до Point of Rocks (24993 km²)
 II = до Milville (7770 km²).

	осадки		стокъ		испареніе.	
	I	II	I	II	I	II
1895/96	37,25	42,10	8,16	9,05	29,09	33,05
1896/97	32,60	31,67	16,53	16,03	16,07	15,68
1897/98	38,50	40,83	13,47	12,14	25,03	28,64
1898/99	41,72	43,04	18,38	14,84	23,32	28,20
1899/00	30,09	33,63	8,99	9,73	21,10	23,90
1900/01	43,63	48,08	17,22	19,44	26,40	28,64
1901/02	35,33	34,36	21,46	19,73	13,87	14,58
1902/03	44,81	44,91	19,36	19,60	25,45	25,32
1903/04	29,37	30,47	9,30	7,86	20,07	22,61
1904/05	35,28	34,20	9,34	8,01	25,94	26,19
Среднее	36,86	38,33	14,22	13,64	22,64	24,69

1) Примѣчаніе. По Ноуѣу см. Литерат. № 24; осадки, стокъ и испареніе даны въ англійскихъ дюймахъ. Годъ считается съ 1-го октября.

Бассейнъ р. Roanake.¹⁾I = до Randolph (7977 km²)II = до Roanake (1010 km²).

	осадки		стокъ		испареніе	
	I	II	I	II	I	II
1896/97	—	35,19	—	14,90	—	20,29
1897/98	—	38,28	—	12,12	—	26,16
1898/99	—	48,85	—	27,32	—	21,53
1899/00	—	38,08	—	12,32	—	25,76
1900/01	53,95	58,30	25,16	29,66	28,79	28,64
1901/02	37,14	34,47	21,14	18,56	16,00	15,91
1902/03	50,99	49,73	22,50	21,15	28,49	28,58
1903/04	34,00	35,21	10,99	8,88	23,01	26,33
1904/05	42,89	46,03	13,51	14,32	29,38	31,71
Среднее	43,80	42,68	18,66	17,69	25,14	24,99

Бассейнъ р. James.¹⁾I = до Cartersville (16136 km²)II = до Buchanan (5335 km²)III = до Glasgow (2150 km²)IV = до Mattoax (1930 km²).

	осадки				стокъ				испареніе			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1895/96	—	44,12	45,22	—	—	12,20	14,76	—	—	31,92	30,46	—
1896/97	—	34,25	32,92	—	—	17,10	16,63	—	—	17,15	16,29	—
1897/98	—	42,69	38,78	—	—	12,78	12,81	—	—	29,91	25,97	—
1898/99	50,23	47,34	47,95	—	22,20	21,28	17,35	—	28,03	26,06	30,60	—
1899/00	36,57	35,78	36,49	—	13,60	12,04	12,15	—	22,97	23,74	24,34	—
1900/01	54,83	53,31	51,48	52,98	24,04	26,30	21,33	16,88	30,79	27,01	30,15	36,10
1901/02	37,83	35,72	35,54	38,13	18,93	20,83	18,81	17,51	18,90	14,89	16,73	20,62
1902/03	50,59	48,81	50,77	52,70	24,73	22,30	20,99	25,15	25,86	26,51	29,78	27,55
1903/04	30,58	30,45	32,48	30,80	10,69	11,45	12,78	10,92	19,89	19,00	19,70	19,88
1904/05	40,21	39,24	36,00	40,28	13,28	12,83	12,30	11,94	26,93	26,41	23,70	28,34
Среднее	42,98	41,17	40,79	42,98	18,21	16,91	15,99	16,48	24,77	24,26	24,77	26,50

1) См. примѣчаніе стр. 189.

Connecticut (8547 km²). ¹⁾

	осадки	стокъ	испа- рение
1900/01	38,93	24,00	14,93
1901/02	41,80	27,04	14,76
1902/03	34,76	21,92	12,84
1903/04	34,82	16,01	18,81
1904/05	33,48	19,31	14,17
Среднее	36,76	21,66	15,10

Басейнъ р. Ohio (61667 km²). ¹⁾

	осадки	стокъ	испа- рение
1884/85	39,12	17,82	21,30
1885/86	39,89	21,18	18,71
1886/87	39,34	22,39	16,95
1887/88	37,46	17,46	20,00
1888/89	39,52	24,34	15,18
1889/90	55,56	34,20	21,36
1890/91	48,63	30,64	17,99
1891/92	43,40	22,09	21,31
1892/93	39,40	21,52	17,88
1893/94	38,55	18,03	20,52
1894/95	33,47	16,29	17,18
1895/96	44,57	19,71	24,86
1896/97	38,44	22,59	15,85
1897/98	46,51	24,61	21,90
1898/99	43,26	22,88	20,38
1899/00	35,94	17,64	18,30
1900/01	45,21	24,55	20,48
1901/02	40,78	24,66	16,12
1902/03	45,20	27,09	18,11
1903/04	41,62	25,35	16,27
1904/05	39,91	21,19	18,72
Среднее	41,71	22,68	19,02

Басейнъ р. Housatonic (2642 km²). ¹⁾

	осадки	стокъ	испа- рение
1900/01	48,24	25,68	22,56
1901/02	51,49	33,17	18,32
1902/03	50,33	36,94	13,39
1903/04	49,48	27,61	21,87
1904/05	39,77	23,76	16,01
Среднее	47,86	29,43	18,43

1) См. примѣчаніе стр. 189.

р. Croton (875 км²)¹⁾.

	Годовыя величины			лѣто (VI—VIII)				5 лѣтнія среднія		
	осадки	стокъ	испар.	осадки	стокъ	испар.		осадки	стокъ	испар.
1877	1248	478	770	335	25	310	1877/81	1170	494	676
78	1245	553	692	287	66	221	78/82	1205	526	679
79	1276	643	633	459	66	393	79/83	1163	486	677
80	985	348	637	290	17	273	80/84	1154	464	690
81	1095	450	645	244	49	195	81/85	1196	492	704
82	1423	638	785	229	52	177	82/86	1215	508	707
83	1035	349	686	307	27	280	83/87	1213	511	702
84	1233	535	698	399	59	340	84/88	1313	607	706
85	1193	487	706	327	22	305	85/89	1364	663	701
86	1192	531	661	297	39	258	86/90	1395	711	684
87	1412	654	758	629	171	458	87/91	1389	724	665
88	1533	828	705	286	67	219	88/92	1354	683	671
89	1488	814	674	441	165	276	89/93	1305	654	651
90	1352	727	625	338	64	274	90/94	1253	602	651
91	1161	596	565	286	29	257	91/95	1187	544	643
92	1234	452	782	390	66	324	92/96	1200	542	658
93	1291	680	611	315	47	268	93/97	1208	575	633
94	1225	556	669	202	46	156	94/98	1251	586	665
95	1023	434	589	284	26	258	95/99	1236	601	635
96	1228	588	640	311	51	260				
97	1273	617	656	528	176	352				
98	1507	734	773	436	123	313				
99	1145	633	512	309	39	270				
средн.	1253	579	674	345	66	279				

1) Rafter. Литерат. № 17. Годъ считается съ декабря предыдущаго года. Данныя за 1868—76 опущены, вслѣдствіе неточности измѣренія осадковъ, см. Rafter l. с. р. 60. 5-лѣтнія среднія заимствованы у Оппохова. Литер. № 5.

Бассейнъ озера Cochituate (49 км²). ¹⁾

	Годовыя величины				5-ти лѣтнія среднія		
	осадки	стокъ	испар.		осадки	стокъ	испар.
1870	1491	723	768	1870/74	1196	547	649
71	1151	374	777	71/75	1133	488	645
72	1227	437	790	72/76	1138	514	624
73	1140	652	488	73/77	1125	539	586
74	970	551	419	74/78	1149	532	617
75	1175	428	747	75/79	1156	528	628
76	1176	502	674	76/80	1108	497	611
77	1166	564	602	77/81	1075	475	600
78	1257	616	641	78/82	1055	441	614
79	1005	529	476	79/83	957	369	588
80	936	273	663	80/84	977	357	620
81	1011	395	616	81/85	1026	383	643
82	1066	394	672	82/86	1045	413	632
83	768	256	512	83/87	1053	459	594
84	1102	466	636	84/88	1179	542	637
85	1185	400	785	85/89	1229	602	627
86	1105	545	590	86/90	1239	653	586
87	1106	625	481	87/91	1265	709	556
88	1399	673	726	88/92	1252	666	586
89	1350	766	584	89/93	1182	617	565
90	1236	652	584	90/94	1114	533	581
91	1232	828	404	91/95	1124	498	626
92	1042	409	633	92/96	1098	440	658
93	1052	427	625	93/97	1104	441	663
94	1009	344	665	94/98	1178	472	706
95	1286	480	806	95/99	1182	506	676
96	1101	539	572	96/00	1181	503	678
97	1070	411	659				
98	1424	581	843				
99	1028	514	514				
1900	1284	465	819				

1) См. примѣчаніе стр. 192. Данныя за 1863—69 опущены.

Многолѣтнія среднія для американскихъ бассейновъ.¹⁾

Бассейнъ.	Штатъ.	Періодъ.	Площадь въ км ²	Осадки. Стокъ. Испар.		
Muskingum River. . .	Ohio	1888/95	15048	908mm	333mm	675mm
Genessee River . . .	New-York	1890/98	2770	1024	360	663
Croton R.	" "	1877/99	875	1253	579	674
Cochituate Lake . . .	Mass.	1863—1900	49	1196	515	681
Sudbury R.	"	1875—1900	202	1171	574	597
Mystic Lake	"	1878—95	70	1120	508	612
Neshaminy Creek . . .	Penns.	1884/99	360	1209	587	612
Perkiomen "	"	1884/99	394	1219	599	620
Tohickson "	"	1884/98	264	1272	721	551
Hudson River	N.-York	1888—1901	11655	1123	592	531
Pequannok R.	N.-Yersey	1891/99	165	1189	681	508
Connecticut R.	Conn.	1872/85	26500	1092	559	533
Susquehanna (Harris- burg)	Penns.	1892—1905	62211	1000	536	465
" (Wilkesbarre). . .	"	1900/05	25408	1012	589	423
" (Williamspport) . .	"	1896—1905	14608	1016	565	451
Connecticut (Orford) .	Conn	1901/05	8547	934	550	384
Housatomic (Gaylords- ville)	"	"	2642	1216	748	468
Ohio (Wheeling) . . .	Ohio	1885—1905	61667	1060	576	484
James (Cartersville) .	Virg.	1899—1905	16136	1092	463	629
" (Buchanan)	"	1896—1905	5335	1046	430	616
" (Glasgow).	"	"	2150	1035	406	629
Appomattox (Mattoax)	"	1901/05	1930	1092	419	673
Roanake (Roanake) . .	"	1897—1905	1010	1084	449	635
" (Randolph)	"	1901—1905	7977	1113	474	639
Potomac (Point of Rocks)	Maryl.	1896—1905	24993	936	361	575
" (South Branch)	W. Va.	1900—1905	3820	854	310	543
Antietam Creek	Maryl.	1899—1903	764	943	422	521
Monocacy R.	"	4 года 1897—1905	24993	1170	582	588
Shenandoah (Milville)	W. Va.	1896—1905	7770	1028	385	643
" (South Fork)	Va.	7 лѣтъ 1900/04	4066	973	493	480
Nashua R. (South Br.)	Mass.	1897—1902	308	1304	700	604

1) По Rafter'y, Hoyt'y, и Newell'ю. Литерат. № 17, 24 и 28.

Годовой ходъ осадковъ. 1)

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Connecticut . . .	2,99	2,17	2,80	2,28	1,60	3,44	2,77	2,99	3,78	4,34	3,88	3,73
Housatonic . . .	3,98	2,39	4,38	3,05	2,56	4,10	3,71	2,97	5,46	5,00	5,56	4,70
Susquehanna (Harrisburg). . .	3,02	2,63	2,97	2,73	2,67	3,35	2,76	3,96	3,98	4,11	4,16	3,04
„ (Wilkes-Barre)	3,33	2,41	3,30	2,57	2,30	3,60	2,70	2,73	4,46	5,05	4,49	2,90
„ (WilliamSPORT)	2,90	2,74	3,15	2,63	2,72	4,09	2,89	3,20	4,11	4,62	4,14	2,83
Ohio	2,66	3,09	3,13	3,24	3,19	3,39	3,28	4,04	4,32	4,55	3,74	3,07
Potomac	2,21	2,29	2,67	2,53	2,91	3,42	2,61	3,77	4,15	4,15	3,50	2,65
Shenandoah . . .	2,47	2,08	2,61	2,58	3,12	3,52	2,55	3,85	4,90	4,14	3,56	2,95
James (Cartersville)	3,46	1,89	3,28	3,20	3,52	3,88	3,07	3,75	5,13	4,06	4,50	3,24
„ (Buchanan) . .	2,52	2,42	3,00	2,79	3,66	3,88	2,66	4,20	4,78	4,42	3,67	3,17
„ (Glasgow) . . .	2,61	2,29	2,87	2,86	3,57	3,89	2,70	4,04	4,78	4,09	3,82	3,24
Appomattox . . .	2,70	2,20	3,76	3,28	3,11	3,63	3,09	3,96	3,99	4,13	6,24	2,89
Roanake (Roanake)	2,71	2,49	2,92	2,85	3,92	4,0	2,80	4,18	4,77	4,91	3,80	3,32
Roanake (Randolph). . .	2,61	2,22	3,95	3,10	3,56	3,57	3,35	4,07	4,53	4,92	5,15	2,77

Годовой ходъ стока. 1)

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Connecticut . . .	1,24	1,23	1,28	0,76	0,54	3,91	4,70	3,10	1,69	1,09	1,09	1,03
Housatonic . . .	1,89	1,39	2,68	2,32	1,61	5,88	4,63	2,40	2,24	1,47	1,41	1,51
Susquehanna (Harrisburg). . .	0,90	1,08	1,75	1,94	1,98	4,48	3,43	2,07	1,25	0,83	0,77	0,61
„ (Wilkes-Barre)	1,16	0,96	2,53	2,89	2,56	5,33	3,17	1,13	1,07	1,01	0,66	0,72
„ (WilliamSPORT)	0,85	1,14	1,75	1,96	1,96	5,59	3,50	1,68	1,20	1,23	0,87	0,52
Ohio	0,72	1,21	1,99	2,78	3,12	4,07	3,20	1,94	1,30	1,06	0,76	0,53
Potomac	0,52	0,44	1,06	1,30	2,00	2,80	1,98	1,34	0,99	0,76	0,69	0,34
Shenandoah . . .	0,82	0,48	1,05	1,21	1,53	2,16	1,77	1,39	1,16	0,83	0,81	0,43
James (Cartersville)	0,89	0,75	1,51	1,80	2,11	3,16	2,18	1,63	1,50	0,99	1,02	0,67
„ (Buchanan) . .	0,60	0,71	1,30	1,36	2,34	3,35	2,02	1,77	1,17	0,98	0,81	0,50
„ (Glasgow) . . .	0,67	0,63	1,21	1,41	2,34	2,82	1,79	1,51	1,15	0,99	0,84	0,63
Appomattox . . .	0,63	0,64	1,46	1,75	2,29	2,26	2,13	1,44	0,90	0,73	1,42	0,83
Roanake (Roanake)	0,85	0,78	1,29	1,43	2,34	2,88	1,89	1,79	1,14	1,16	1,33	0,80
Roanake (Randolph)	1,03	0,81	1,71	1,63	1,98	2,33	1,88	1,65	1,37	1,45	1,80	1,02

1) См. прим. стр. 189.

Осадки — стокъ. ¹⁾

Connecticut . . .	1,75	0,94	1,52	1,52	1,06	-0,47	-1,94	-0,11	2,09	3,25	2,79	2,70
Housatonic . . .	2,09	1,00	1,70	0,73	0,95	-1,78	-0,92	0,57	3,22	3,53	4,15	3,19
Susquehanna (Harrisburg) . . .	2,12	1,55	1,22	0,79	0,69	-1,13	-0,67	1,89	2,73	3,28	3,39	2,43
„ (Wilkes-Barre)	2,17	1,45	0,77	-0,32	-0,26	-1,73	-0,46	1,60	3,39	4,04	3,83	2,18
„ (Williamsport)	2,05	1,60	1,40	0,67	0,76	-1,50	-0,61	1,52	2,91	3,39	3,27	2,31
Ohio	1,94	1,88	1,14	0,46	0,07	-0,68	0,07	2,10	3,02	3,50	2,98	2,53
Potomac	1,68	1,85	1,61	1,23	0,91	0,62	0,63	2,43	3,16	3,39	2,81	2,31
Shenandoah . . .	1,65	1,60	1,56	1,37	1,59	1,36	0,78	2,46	3,74	3,31	2,75	2,52
James (Cartersville)	2,57	1,14	1,77	1,40	1,41	0,72	0,89	2,12	3,63	3,07	3,48	2,57
„ (Buchanan) . . .	1,92	1,71	1,70	1,43	1,32	0,53	0,64	2,43	3,60	3,44	2,86	2,67
„ (Glasgow) . . .	1,94	1,66	1,67	1,45	1,23	1,07	0,91	2,53	3,63	3,10	2,97	2,61
Appomattox . . .	2,07	1,56	2,30	1,52	0,82	1,38	0,95	2,52	3,09	3,40	4,82	2,07
Roanake (Roanake)	1,86	1,71	1,63	1,42	1,57	1,13	0,91	2,39	3,63	3,75	2,47	2,53
Roanake (Randolph)	1,58	1,41	2,24	1,47	1,58	1,24	1,47	2,42	3,16	3,47	3,35	1,75

Бассейнъ р. Sudbury (1875—1902). ²⁾

Осадки въ мм. . .	109	105	98	107	112	117	87	88	73	96	104	84
Стокъ въ мм. . .	23	40	51	55	77	135	91	52	21	9	13	10

Бассейнъ р. Nashua (South Brauch) 1897—1902. ²⁾

Осадки въ мм. . .	101	111	136	93	110	128	108	99	90	119	123	85
Стокъ въ мм. . .	29	43	86	56	65	155	115	65	33	29	26	15

Бассейнъ р. Chagres выше Вогио (Панамск. перешеекъ) ³⁾
площадь 1811 км².

	осадки	стокъ	испар.
1898	2913 мм	1949 мм	964 мм
1899	2587	1670	917
1900	2734	1723	1011
1901	3064	1897	1167
1902	2767	1966	801
1903	2925	1949	976
1) Среднее	2834	1859	975
2) Среднее			
1898—1906	2812	1843	969

1) См. примѣчаніе стр. 189.

2) Newell. Литерат. № 28.

3) Abbott. Литерат. № 34.

Таблица гиперболической функции ¹⁾ $tg hu$ для $u = 0$ до 2,39.

u	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	D
0,0	0,0000	0100	0200	0300	0400	0500	0599	0699	0798	0898	99
0,1	0,0997	1096	1194	1293	1391	1489	1587	1684	1781	1878	96
0,2	0,1974	2070	2165	2260	2355	2449	2543	2636	2729	2821	92
0,3	0,2913	3004	3095	3185	3275	3364	3452	3540	3627	3714	86
0,4	0,3800	3885	3969	4053	4137	4219	4301	4382	4462	4542	79
0,5	0,4621	4700	4777	4854	4930	5005	5080	5154	5227	5299	71
0,6	0,5370	5441	5511	5581	5649	5717	5784	5850	5915	5980	64
0,7	0,6044	6107	6169	6231	6291	6352	6411	6469	6527	6584	56
0,8	0,6640	6696	6751	6805	6858	6911	6963	7014	7064	7114	49
0,9	0,7163	7211	7259	7306	7352	7398	7443	7487	7531	7574	42
1,0	0,7616	7658	7699	7739	7779	7818	7857	7895	7932	7969	36
1,1	0,8005	8041	8076	8110	8144	8178	8210	8243	8275	8306	31
1,2	0,8337	8367	8397	8426	8455	8483	8511	8538	8565	8591	26
1,3	0,8617	8643	8668	8693	8717	8741	8764	8787	8810	8832	22
1,4	0,8854	8875	8896	8917	8937	8957	8977	8996	9015	9033	19
1,5	0,9052	9069	9087	9104	9121	9138	9154	9170	9186	9202	15
1,6	0,9217	9232	9246	9261	9275	9289	9302	9316	9329	9342	12
1,7	0,9354	9367	9379	9391	9402	9414	9425	9436	9447	9458	10
1,8	0,9468	9478	9488	9498	9508	9518	9527	9536	9545	9554	8
1,9	0,9562	9571	9579	9587	9595	9603	9611	9619	9626	9633	7
2,0	0,9640	9647	9654	9661	9668	9674	9680	9687	9693	9699	6
2,1	0,9705	9710	9716	9722	9727	9732	9738	9743	9748	9753	4
2,2	0,9757	9762	9767	9771	9776	9780	9785	9789	9793	9797	4
2,3	0,9801	9805	9809	9812	9816	9820	9823	9827	9830	9834	3

 $tg h 3,00 = 0,995.$ $tg h 4,00 = 0,999.$

1) По Кирпел'ю. Differentialrechnung.

Оглавление.

Введеніе	1—16
Литература вопроса объ испареніи рѣчныхъ бассейновъ стр. 1. — Общее состояніе вопроса объ испареніи 4. — Законы испаренія водныхъ поверхностей 5. — Способъ опредѣленія испаренія рѣчныхъ бассейновъ 16. —	
Глава I. Способы и точность измѣренія осадковъ, стока и испаренія рѣчныхъ бассейновъ	16—38
Измѣреніе осадковъ; вліяніе высоты дождемѣровъ 17. — Вліяніе вѣтра 17. — Защита дождемѣровъ 18. — „Неизмѣримыя“ формы осадковъ: роса, иней и др. 18. — Испареніе и конденсація на по- верхности снѣжнаго покрова 20. — Точность опредѣленія осад- ковъ для цѣлыхъ странъ 22. — Густота дождемѣрной сѣти 24. — Способъ изогіетъ и другіе способы 24. — Измѣреніе стока; кри- вая расходовъ 26. — Вліяніе ледостава 27. — Точность измѣрен- ній расходовъ; примѣры 27. — Меньшая точность опредѣленія испаренія, какъ математическое слѣдствіе 28. — Вопросъ о со- отвѣтствіи величины „осадки — стокъ“ величинѣ испаренія 29. — Теоріи о происхожденіи рѣчной воды 29. — Подземный стокъ 29. — Прибыль и убыль запаса влаги въ бассейнѣ 32. — Верхній предѣлъ ошибокъ при опредѣленіи величинъ осадковъ, стока и испаренія въ басс. р. р. Кротона и Susquehanna. 37. —	
Глава II. Вліяніе климатическихъ факторовъ на ис- пареніе и стокъ рѣчныхъ бассейновъ. А. Вліяніе осадковъ	39—51
Роль величины бассейна 39. — Гидрографическій годъ 40. — Графическое и математическое опредѣленіе зависимости испаре- нія отъ осадковъ 41. — Таблица уравненій для различныхъ бас- сейновъ 42. — Точность ихъ. 44. — 2 типа бассейновъ 44. — Объясненіе различія этихъ типовъ 45. — Вліяніе распредѣленія осадковъ по полугодіямъ 48. — Безсточность 49. — Зависимость коэффициента стока отъ осадковъ 50. —	
Глава II (продолженіе). В. Вліяніе остальныхъ климати- ческихъ факторовъ	51—58
Общее положеніе вопроса о вліяніи этихъ факторовъ 51. — Раз- личная степень ихъ важности въ бассейнахъ I и II типа 52. — Роль температуры, недостатка насыщенія, вѣтра, инсоляціи и др. факторовъ 54. — Коэффициентъ стока ливневыхъ водъ 58. —	

- Глава III.** Измѣнчивостьъ величинъ осадковъ, испаренія и стока 58—64
 Таблица измѣнчивости осадковъ, испаренія и стока нѣкоторыхъ бассейновъ 58. — Значеніе величины поверхности бассейна 60. — Соотношеніе измѣнчивости осадковъ и испаренія 61. — Сравненіе съ опытными данными 61. — Областные различія 62. — Измѣнчивость стока 63. —
- Глава IV.** Вліяніе физико-геологическихъ факторовъ. 64—73
 Опредѣленіе 64. — Значеніе физическихъ свойствъ почвы 64. — Роль песчаныхъ почвъ 66. — Вліяніе рельефа 66. — Значеніе величины поверхности бассейна 68. — Роль озеръ 69. — Опредѣленія величины испаренія съ поверхности нѣкоторыхъ озеръ 71. —
- Глава V.** Роль растительнаго покрова. А. Вліяніе на испареніе 73—99
 Ошибочныя мнѣнія о незначительной роли транспираціи растительнаго покрова 73. — Способы измѣренія испаренія растительнаго покрова 74. — Преобладающее значеніе лѣса 77. — Роль лѣса въ равнинѣ и на горныхъ склонахъ 79. — Изслѣдованія Высоцкаго и Дулова 80. — Выводы Отоцкаго 85. — Соотношеніе между испареніемъ различныхъ породъ лѣса 87. — Испареніе голой почвы, по сравненію съ растительнымъ покровомъ 88. — Испареніе различныхъ видовъ растительнаго покрова 89. — Наблюденія въ Павловскѣ 91. — Формула Рыкачева 92. — Вліяніе метеорологическихъ факторовъ 93. — Теорія Срезневскаго 94. — Соотношеніе между испареніемъ растительнаго покрова и свободной водной поверхности 97. —
- Глава V** (продолженіе). В. Вліяніе растительнаго покрова на осадки и стокъ 99—118
 Мѣстное вліяніе растительнаго покрова (въ частности лѣса) на осадки 101. — Вліяніе на осадки цѣлага материка 104. — Вліяніе растительнаго покрова на абсолютную величину стока 105. — Регулирующее вліяніе лѣса на стокъ 106. — Задерживаніе осадковъ кронами деревьевъ 106. — Замедленіе поверхностнаго стока 107. — Замедленіе таянія снѣга 107. — Вліяніе лѣса на грунтовое и меженнее питаніе рѣкъ и источниковъ 108. — Вліяніе лѣса на наводки 109. — Изслѣдованія Бельграна 111. — Гидрологическая роль болотъ 112. — Waggon₁Wheel Gap Experiment Station 117. —
- Глава VI.** Измѣнчивостьъ величины испаренія въ пространствѣ. Соотношеніе между вліяніемъ осадковъ и физико-геологическихъ факторовъ на величину испаренія 118—129
 Колебанія величины осадковъ, стока и испаренія въ Средней Европѣ 118. — Предѣлы вліянія физико-геологическихъ факторовъ по Келлеру 119. — Критическое разсмотрѣніе ихъ 120. — таблицы Келлера 124. — Предѣлы вліянія физико-геологи-

ческихъ факторовъ 122. — Сравненіе съ лизиметрическими данными 127. — Вопросъ о подземномъ стока 128. —	
Глава VII. Годовой ходъ испаренія и стока . . .	130—148
Годовой ходъ запаса влаги въ бассейнѣ 130. — Режимъ грунтовыхъ водъ въ западной Европѣ (Souka) 131. — То же въ Россіи 132. — Способъ Пенка для опредѣленія годового хода испаренія 134. — Запаздываніе стока 138. — Грунтовое питаніе 138. — Формулы Шрейбера для мѣсячныхъ величинъ расхода богемской Эльбы 141. — Отличительныя черты русскихъ рѣкъ 142. — Роль осадковъ отдѣльныхъ временъ года 144. — Вычисленіе весенняго расхода Оки по количеству снѣга въ Орлѣ. 145. —	
Глава VIII. Общія формулы для испаренія и стока.	148—174
Формулы, относящіяся къ средней Европѣ. 149 — Формулы Vegthele'я 152. — Формула, предложенная авторомъ 144. — О величинѣ зимняго испаренія 155. — О вычисленіи недостатка насыщенія 157. — Приложеніе новой формулы къ нѣкоторымъ рѣчнымъ бассейнамъ 161. — Испареніе съ бассейна р. Эмбаха 165. — Испареніе съ бассейна р. Невы 166. — Изслѣдованія въ районѣ ключевыхъ источниковъ (Рыкачевъ) 167. — Испареніе съ бассейна р. Оки 170. — Вліяніе инсоляціи 173. — Облачность въ Орлѣ и Прагѣ 173. — Выводъ различной зависимости испаренія отъ осадковъ въ бассейнахъ I и II типа изъ формулы 173. —	
Глава IX. Круговоротъ влаги на сушѣ и на океанахъ	174—180
Вычисленія Брикнера и Фришше 175. — Критическія замѣчанія къ нимъ 179. — Опыты Лютгенса 180. —	
Заключеніе	181—182
Таблицы	183—197

Zusammenfassung der Ergebnisse betreffend die Verdunstung von Flussgebieten.

Von E. Oldekop.

Als Grundlage für die Untersuchung dient die Penck'sche Formel: Verdunstung = Niederschlag — Abfluss. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Formel für die Verdunstung, im Ganzen, etwas zu kleine Werte liefert, da die gemessene Grösse des Niederschlages durchschnittlich um einige Procent hinter der wirklichen zurücksteht. Was, speziell, Hochgebirgsgebiete anlangt, so ist hier die Unsicherheit in der Bestimmung der gesammten Niederschlagsmenge eine weit grössere, infolge dessen auch die berechneten Grössen der Verdunstung meistens ganz unzuverlässig.

Bei Flüssen mit längere Zeit anhaltender Eisdecke ist es von grosser Wichtigkeit den Einfluss der Eisdecke bei Berechnung der Abflussmenge in Betracht zu ziehen.

Was den Einfluss von „Aufspeicherung und Speisung“ (Penck, Oppokow) auf die berechnete jährliche Grösse der Verdunstung betrifft, so ist er bei Flussgebieten mit sehr permeablem Boden durchaus merklich; bei Flussgebieten jedoch mit weniger permeablen Boden von geringerer Bedeutung. Bei der Bildung von vieljährigen Mitteln verschwindet er ganz.

In den meisten Fällen ist, trotz der angeführten Fehlerquellen, die nach obiger Formel berechnete Grösse der Verdunstung nicht bedeutungslos, und es lassen sich für sie verschiedene Gesetzmässigkeiten nachweisen.

Die Faktoren, von denen die Grösse der Verdunstung abhängt, lassen sich einteilen in klimatische und physikalisch-geologische. Die wichtigsten der klimatischen Faktoren sind: der Niederschlag, seine Verteilung im Jahr, sowie die Art des Niederschlages, das Sättigungsdeficit der Luft, ihre Temperatur, der

Wind und die Insolation, ferner die Mächtigkeit der Schneedecke und die Geschwindigkeit ihres Tauens. (Von einiger Bedeutung ist auch das Gefrieren des Bodens im Herbst vor der Bildung der Schneedecke und der Zustand desselben während des Tauens der Schneedecke). Zu den physikalisch-geologischen Faktoren gehören: die physikalischen Eigenschaften des Bodens und der tieferen geologischen Schichten (Wasserkapazität, Durchlässigkeit, Kapillarität), der Zustand der Oberfläche des Bodens, das Relief der Bodenoberfläche, die Vegetationsdecke (Wälder); das Vorhandensein von Seen und Sümpfen, die Grösse des Flussgebietes.

Was die Abhängigkeit der Verdunstung von den klimatischen Faktoren betrifft, so lässt sich im Allgemeinen bloss der Zusammenhang zwischen den jährlichen Schwankungen des Niederschlages und der Verdunstung nachweisen; die Einwirkungen der Schwankungen der übrigen klimatischen Faktoren auf die Verdunstung verdecken sich in den meisten Fällen gegenseitig, wozu auch noch die Messungsfehler das Ihrige beitragen. Daraus folgt aber noch nicht, dass in allen Fällen die Grösse des Niederschlages der ausschlaggebende Faktor ist. Bei Betrachtung der Abhängigkeit der jährlichen Grösse der Verdunstung von den klimatischen Faktoren kann man 2 Grenzfälle unterscheiden:

1) die Grösse der Verdunstung ist weit geringer als das mögliche Maximum der Verdunstung unter den gegebenen klimatischen Verhältnissen¹⁾ (I. Typus der Flussgebiete);

2) die jährliche Grösse der Verdunstung ist gleich oder nahezu gleich dem möglichen Maximum (II Typus).

Die beiden Typen unterscheiden sich auch durch die Grösse des Abflusskoeffizienten: im I Falle ist er gering; im II Falle sehr gross (über 50%). Bei den Flussgebieten des I Typus werden Schwankungen der jährlichen Grösse der Verdunstung hauptsächlich den Schwankungen des Niederschlages folgen und wenig abhängen von den Schwankungen der übrigen meteorologischen Faktoren; bei den Flussgebieten des II Typus werden,

1) Unter möglichem Maximum der Verdunstung eines gegebenen Flussgebietes verstehen wir diejenige Grösse der Verdunstung, die eintreten würde unter der Voraussetzung, dass die Verdunstung unmittelbar aus dem Erdreich und die Transpiration der Pflanzendecke nie durch Wassermangel des Bodens vermindert würde.

umgekehrt, die Schwankungen der Verdunstung abhängen von den Schwankungen der übrigen klimatischen Faktoren und unabhängig sein von den Schwankungen des Niederschlages.

Graphisch wird sich der Unterschied zwischen den beiden Typen von Flussgebieten folgendermassen ausdrücken: bei Darstellung der Schwankungen der Jahressummen von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung von Jahr zu Jahr, wird bei den Bassins, die sich dem I Typus nähern (z. B. Oka, vgl. Fig. I) die Kurve der Verdunstung der Kurve des Niederschlages nahezu parallel laufen, die Kurve des Abflusses dagegen nicht; bei den Bassins des II Typus besteht Parallelismus zwischen den Kurven des Abflusses und Niederschlages, nicht aber zwischen Niederschlag und Verdunstung (z. B. Dalef und Croton, vgl. Fig. III und IV). Bei Flussgebieten, die zwischen beiden Typen stehen, wird ein gewisser Parallelismus sowohl zwischen Niederschlag und Abfluss, als auch zwischen Niederschlag und Verdunstung bestehen (z. B. böhmische Elbe, vgl. Fig. II).

Trägt man Abfluss und Verdunstung in einem Koordinatennetz als Punkte auf, deren Abszissen gleich dem Niederschlage, deren Ordinaten gleich dem Abflusse (resp. Verdunstung) sind, und zieht man durch die betreffenden so erhaltenen Punktscharen die Mittellinien des Abflusses (resp. der Verdunstung), so erhält man für Flussgebiete vom I. Typus eine steil verlaufende Linie für die Verdunstung (unter dem Winkel von nahezu 45°) und eine der Abszissenachse fast parallele Linie des Abflusses (vgl. Fig. XI Oka)¹⁾; für Flussgebiete vom II Typus ist das Verhältnis ein umgekehrtes (vgl. Fig. XII, V u. VI für Dalef und Croton); bei Flussgebieten vom mittleren Typus bilden sowohl Abflusslinie, als auch Verdunstungslinie einen mässigen Winkel mit der Abszissenachse. (Fig. XIII).

Ein und dasselbe Flussgebiet kann in den einzelnen Jahreszeiten verschiedenen Typen angehören, was, wie oben gesagt, vom Verhältnis zwischen Niederschlag und maximaler möglicher Verdunstung abhängt. So, z. B., nähert sich das Flussgebiet der

1) Anmerkung. In Wirklichkeit wird der Parallelismus zwischen Niederschlag und Verdunstung etwas geringer sein, als auf der Zeichnung, weil die wahre Grösse der Verdunstung genau genommen, nicht gleich Niederschlag—Abfluss, sondern Niederschlag—Abflusszunahme (resp. —Abnahme) des Wasservorrats im Flussgebiete ist. In Flussgebieten, jedoch, mit wenig permeablem Boden (wie z. B. bei der Oka bis Orel) spielt diese Korrektur keine grosse Rolle.

Saale im Sommerhalbjahr (V—X) dem II Typus, im Winterhalbjahr (XI—IV) dem I Typus, dank dem Umstande, dass im ersten Falle die mögliche maximale Verdunstung den Niederschlag überragt, im zweiten Falle, umgekehrt, der Niederschlag grösser ist. (vgl. Fig. VII, VIII u. IX). Das Flussgebiet des Croton nähert sich in den Sommermonaten (VI—VIII) dem I. Typus. (vgl. Fig. V, VI u. X).

Was die Veränderlichkeit der jährlichen Grössen des Niederschlags, des Abflusses und der Verdunstung betrifft, so ist der Abfluss die veränderlichste Grösse. Die Grösse der Verdunstung ist weniger veränderlich als die des Niederschlages (vgl. z. B. Fig. IV); eine Ausnahme bilden diejenigen Flussbassins, in welchen die jährliche Grösse der Verdunstung fast nur vom Niederschlage abhängt (I. Typus der Flussgebiete), in denen also die Veränderlichkeit der Verdunstung durch die Veränderlichkeit des Niederschlages erhöht wird. Im Allgemeinen ist aber zu berücksichtigen, dass infolge von Messungsfehlern die Veränderlichkeit aller 3 Grössen grösser erscheinen wird, als in Wirklichkeit; besonders gilt dieses von der Verdunstung, welche aus Niederschlag und Abfluss berechnet wird, da nach der Ausgleichungsrechnung $\mu_z^2 = \mu_x^2 + \mu_y^2$ (wo μ_x , μ_y und μ_z die mittleren Fehler von Niederschlag, Abfluss und Verdunstung sind).

Auch wenn man die räumliche Veränderlichkeit betrachtet, so erscheint am veränderlichsten die Grösse des Abfluss, am wenigsten veränderlich die Grösse der Verdunstung.

Über den Einfluss der physikalisch-geologischen Faktoren auf die Grösse der Verdunstung ist Folgendes zu bemerken:

Von permeablen Böden mit geringer Kapillarität wird die Verdunstung geringer sein (also der Abfluss grösser), als von schwach permeablen Böden mit grosser Kapazität für Wasser und grosser Kapillarität. Ferner wird die Verdunstung von hügeligem oder gebirgigem Terrain, ceteris paribus, schwächer sein, als von ebenem. Da aber beim Vergleich von gebirgigen und ebenen Flussgebieten, zu den Verschiedenheiten des Reliefs gewöhnlich noch eine Verschiedenheit in der Permeabilität des Bodens hinzutritt, so kann man nicht a priori entscheiden, ob die Verdunstung bei ersteren oder letzteren überwiegt, besonders, wenn das ebene Gebiet permeabel, das gebirgige schwach permeabel ist. Mit Sicherheit wird man aber eine grössere Verdunstung des

ebenen Flussgebiets zu erwarten haben, wenn (bei gleichen klimatischen Verhältnissen) letzteres wenig permeablen, das gebirgige Flussgebiet dagegen permeablen Boden besitzt.

Die Grösse einer Flussbassins übt, an und für sich, keinen merklichen Einfluss auf die Grösse der Verdunstung (oder auf den Abflusskoeffizienten) aus. Eine Ausnahme bilden nur Flussgebiete in sehr trockenem Klima, in welchen die Verdunstung von der Oberfläche des Flusses selbst eine bedeutende Rolle spielt.

Die Vegetationsdecke, als Ganzes betrachtet, vergrössert bedeutend die Verdunstung von der Oberfläche des Festlandes, weil die Verdunstung des bewachsenen Bodens die des unbewachsenen weit übertrifft. Infolge der stärkeren Verdunstung, ist auch (gemäss der Brückner'schen Theorie über die Herkunft des Regens) anzunehmen, dass durch die Vegetationsdecke die Niederschlagsmenge auf dem Festlande bedeutend vergrössert wird, im Vergleich zu einem unbewachsenen Continente (ganz abgesehen von den durch die Vegetationsdecke verbesserten Kondensationsbedingungen des Wasserdampfes über dem Festlande). Da die Transpiration des Waldes die der anderen Vegetationsformen merklich übertrifft (Ototzky), so spielt der Wald eine nicht unbedeutende Rolle in der Vergrösserung der Niederschlagsmenge auf dem Festlande. Dieser Einfluss kann aber nur auf den Kontinenten, als Ganzen betrachtet, bemerkbar sein, eine rein örtliche Vergrösserung des Niederschlages durch einen gegebenen Wald kann nur ganz unbedeutend sein.

Infolge der Vergrösserung der Verdunstung, kann der Einfluss der Vegetationsdecke (speziell des Waldes und des Sumpfes) auf die jährliche Grösse des Abflusses nur ein negativer sein. Dieses gilt sowohl von einzelnen Flussgebieten, als auch, wahrscheinlich, vom gesammten Festlande. Der Einfluss des Waldes und Sumpfes auf den jährlichen Gang des Abflusses und auf Hochwässer ist, im Ganzen, nicht von Bedeutung; spez. ist der Einfluss des Hochmoores auf die Speisung des Flusses zur Zeit der Trockenheit als ungünstig zu bezeichnen. Im Ganzen, ist anzunehmen, dass durch die Transpiration der Vegetationsdecke der Einfluss der Verschiedenheit der Bodenarten auf die Verdunstung gemindert wird.

Vergleicht man den Einfluss der Gesamtheit der physikalisch-geologischen Faktoren mit dem der klimatischen Faktoren

auf die Verdunstung der Flussgebiete, so stehen an erster Stelle die klimatischen Faktoren; der Bedeutung der physikalisch-geologischen Faktoren tritt weit hinter sie zurück. Im Ganzen muss man annehmen, dass der Einfluss der Verschiedenheit der physikalisch-geologischen Faktoren auf die Grösse der Verdunstung mit steigender Niederschlagsmenge sich verringert, also umgekehrt als bei den übrigen (wenn man vom Niederschlage abstrahiert) klimatischen Faktoren.

Zur Berechnung der Grösse der Verdunstung von Flussgebieten, deren Abflussmenge unbekannt ist, kann folgende Formel dienen: $z = z_0 \operatorname{tgh} \left(\frac{x}{z_0} \right)$, wo tgh tangens hyperbolica (d. h.

$\frac{e - e^{-u}}{e + e^{-u}}$ für das Argument u) ist, wo ferner $x =$ Niederschlag;

$z =$ Verdunstung; $z_0 =$ mögliches Maximum der Verdunstung. Letzteres wird auf Grund des wichtigsten der klimatischen Faktoren berechnet, des Sättigungsdefizits, nach folgender Formel: für das Winterhalbjahr (XI—IV): $z_0 = 96d_1$ mm, für das Sommerhalbjahr: (V—X): $z_0 = 132d_{II}$ mm, wo $d =$ mittleres Sättigungsdefizit (Spannkraft des gesättigten Dampfes bei der t^0 der Luft in mm minus Spannkraft des vorhandenen Dampfes) für das betreffende Halbjahr. Für die beiden Halbjahre erhält man die Grösse der Verdunstung mit Hülfe der Formeln:

$$\text{XI—IV: } z = 96 d_1 \operatorname{tgh} \frac{x_1}{96 d_1};$$

$$\text{V—X: } z = 132 d_{II} \operatorname{tgh} \frac{x_{II}}{132 d_{II}};$$

Die Monatsmittel des Verdunstung kann man berechnen mittelst folgender Formeln:

$$\text{I } z = 16d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16d};$$

$$\text{II } z = 14,5d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{14,5d};$$

$$\text{III } z = 16d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{16d};$$

$$\text{IV } z = 20d \cdot \operatorname{tgh} \frac{x}{20d};$$

$$V \quad z = 28d \cdot tgh \frac{x}{28d};$$

$$VI \quad z = 28d \cdot tgh \frac{x}{28d};$$

$$VII \quad z = 28d \cdot tgh \frac{x}{28d};$$

$$VIII \quad z = 28d \cdot tgh \frac{x}{28d};$$

$$IX \quad z = 20d \cdot tgh \frac{x}{20d};$$

$$X \quad z = 16d \cdot tgh \frac{x}{16d};$$

$$XI \quad z = 16d \cdot tgh \frac{x}{16d};$$

$$XII \quad z = 16d \cdot tgh \frac{x}{16d};$$

Die Anwendbarkeit der monatlichen Formeln ist, im Ganzen, begrenzter, als die der halbjährlichen, da nach der Formel die monatliche Grösse der Verdunstung die Niederschlagsmenge nicht überstreiten kann, was aber in Wirklichkeit in trockeneren Flussgebieten leicht eintreten kann.

Unter Sättigungsdefizit ist hier stets das wahre mittlere Sättigungsdefizit¹⁾, das aus den Einzelbeobachtungen nicht aus Mitteln von absoluter und relativer Feuchtigkeit berechnet ist, gemeint. Letzteres ist geringer als das wahre Sättigungsdefizit, wobei aber die Korrektur durchaus nicht konstant ist. Die Korrektur, die zu dem aus den Mitteln von absoluter und relativer Feuchtigkeit

1) Anmerkng. Über eine erleichterte Methode zur Berechnung desselben (nach Weihrauch) vgl. Meyer, Untersuchungen über das Sättigungsdefizit, M. Z. 1887. Im Interesse der Möglichkeit einer genauen Berechnung von Mittelwerten des Sättigungsdefizits, ohne auf die Einzelbeobachtungen zurückgreifen zu müssen, erscheint es als sehr wünschenswert statt des gewöhnlich publizierten arithmetischen Mittelwertes der relativen Feuchtigkeit (oder neben demselben) das sogenannte Weihrauchsche Mittel (vgl. Bull. soc. nat. Moscou 1884. und M. Z. 1885, 1889 u. 1890) desselben zu veröffentlichen, welches verbunden mit dem Mittel der absoluten Feuchtigkeit eine genaue Berechnung des Sättigungsdefizits gestattet. In den Publikationen des Meteorologischen Observatoriums in Jurjew — Dorpat wird neben dem gewöhnlichen Mittel auch das Weihrauchsche Mittel der relativen Feuchtigkeit und auch das Sättigungsdefizit publiziert.

berechneten Sättigungsdefizit zu addieren ist, kann man angenähert als lineare Funktion des letzteren betrachten (vgl. Fig. XIX u. XX, wo die Ordinate y die Korrektur, x die aus Monatsmitteln berechneten Werte des Sättigungsdefizits sind für Jurjew Dorpat und Prag). Für Jurjew-Dorpat kann man die Korrektur berechnen nach der Gleichung $y = 0,138 x - 0,060$, für Orel: $y = 0,234 x - 0,054$; für Prag: $y = 0,185 x - 0,056$. (Diese Gleichungen gelten nur für die aus Monatsmitteln berechneten Werte des Sättigungsdefizit; mit der Grösse des Zeitabschnittes wächst die Korrektur). Mit Hülfe dieser Gleichung erhält man für Prag folgende 15-jährige Mittel des Sättigungsdefizits in mm:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	hr
0,86	1,06	1,65	2,93	4,71	5,77	6,19	5,80	4,06	2,36	1,21	0,89	3,12

Die Anwendung der halbjährlichen Formeln auf das Gebiet der böhmischen Elbe, bei Benutzung der Niederschlagsangaben von Penck (Geogr. Abh. Bd. 5), ergibt für die Verdunstung:

XI - IV	: 130 mm; (nach Penck 130)
V - X	: 386 mm. („ „ 370)
Jahr	: 516 mm. („ „ 500)

Die monatlichen Formeln ergeben:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr
13,6	14,9	24,6	39,0	58,7	79,3	82,6	77,1	56,6	33,7	19,0	14,1	513,2
nach Penck												
13	15	28	46	69	79	80	71	45	26	16	12	500

Wie man sieht, ist die Übereinstimmung mit den von Penck auf andere Weise gefundenen Werten vollständig befriedigend. Die Anwendung der neuen Formeln auf andere Flussgebiete berechtigt zur Annahme, dass sie eine angenäherte Berechnung der Verdunstung auch unter verschiedenen klimatischen Bedingungen ermöglichen.

Für den jährlichen Gang des Abflusses von einem Flussgebiet ist massgebend, neben der jährlichen Verteilung des Niederschlages, noch das Mass der Trockenheit oder Nässe der einzelnen Monate oder Jahreszeiten, wobei man als Mass der Trockenheit (oder Nässe) betrachten kann das Verhältnis zwischen Niederschlag und möglichem Maximum der Verdunstung, dessen Berechnung oben angegeben wurde, für den betreffenden Zeit-

abschnitt. Es ist leicht zu erkennen, dass in Mitteleuropa und besonders in Zentral- und Süd-Russland, der Sommer als die trockene, der Winter als die nasse Jahreszeit zu betrachten ist, trotz des umgekehrten Verhältnisses der Niederschlagsmengen. Dementsprechend gestaltet sich auch der Verlauf des Abflusses mit dem Minimum im Sommer (vgl. Fig. XIV, XV, XVI, XVII). Übrigens, spielt neben Niederschlag und Verdunstung noch die Aufspeicherung und Speisung im jährlichen Gange des Abflusses eine merkliche Rolle; z. B. sehr deutlich im Gebiet der Oka (Fig. XV), wo dank der Aufspeicherung der Winterniederschläge, der Abfluss im Winter stark verringert, im Frühling dagegen sehr verstärkt wird.

Die Tabellen am Schlusse des Buches enthalten Angaben über Niederschlag und Abfluss für alle Fälle, wo auch die Verdunstung als Differenz zwischen den Letzteren mit gewisser Sicherheit abgeleitet werden kann, und namentlich für: Böhmisches Elbe und Moldau (p. 183), Saale (p. 184), Dnjepr und Oka (p. 185), Main und Dalelf (p. 186), Theiss (p. 187), March (p. 187), nebst Jahres- und Monatsmitteln des Niederschlages und Abflusses. Seite 189—193 enthalten die Daten für amerikanische Bassins nebst Jahres- und Monatsmitteln (p. 194—196). Die letzte Tabelle gibt die Werthe von $\text{tang. hyperb. } u$ für $u = 0$ bis 2.39.

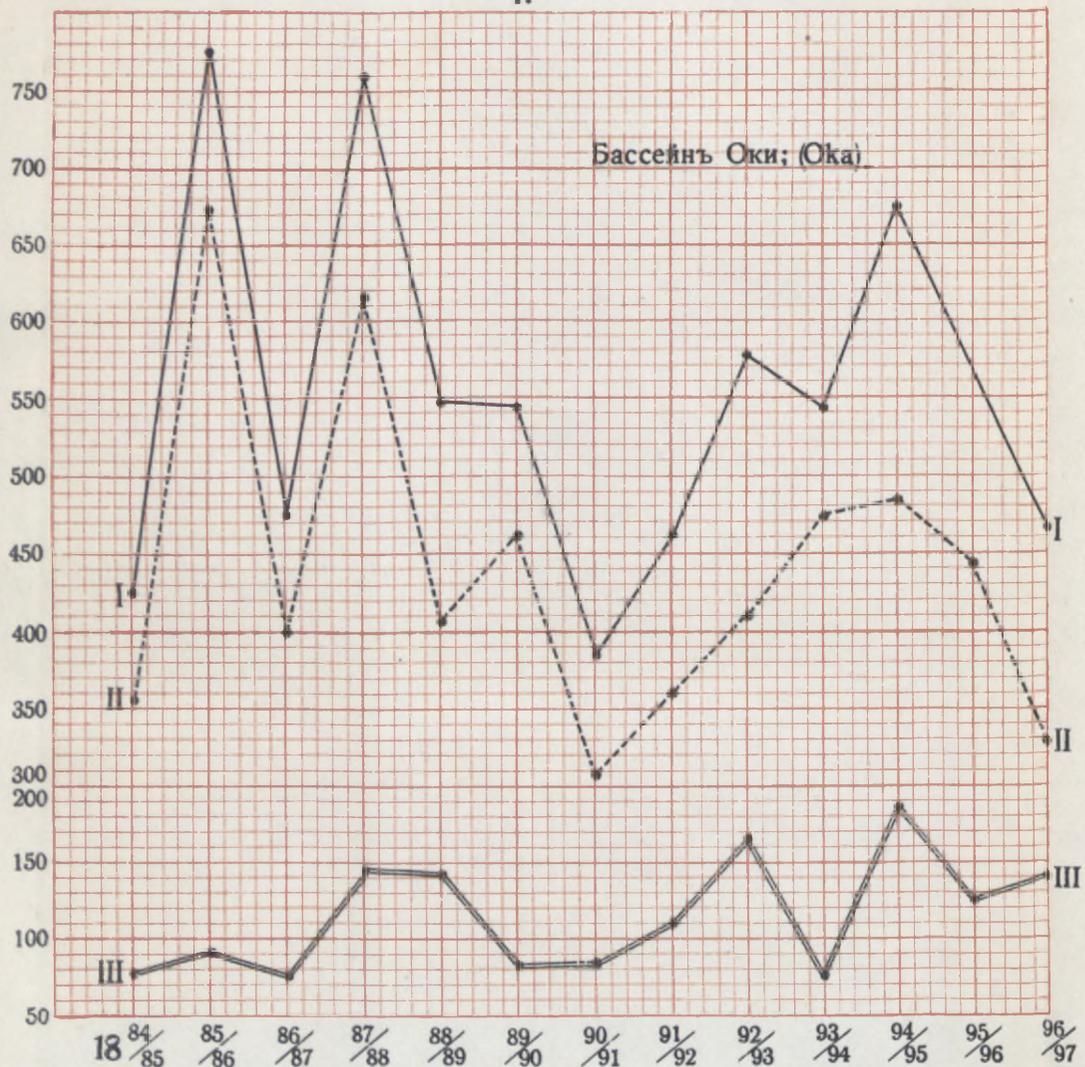
Колебания годовых величин: I осадков (—);

Schwankungen der Jahressummen: I des Niederschlages (—);

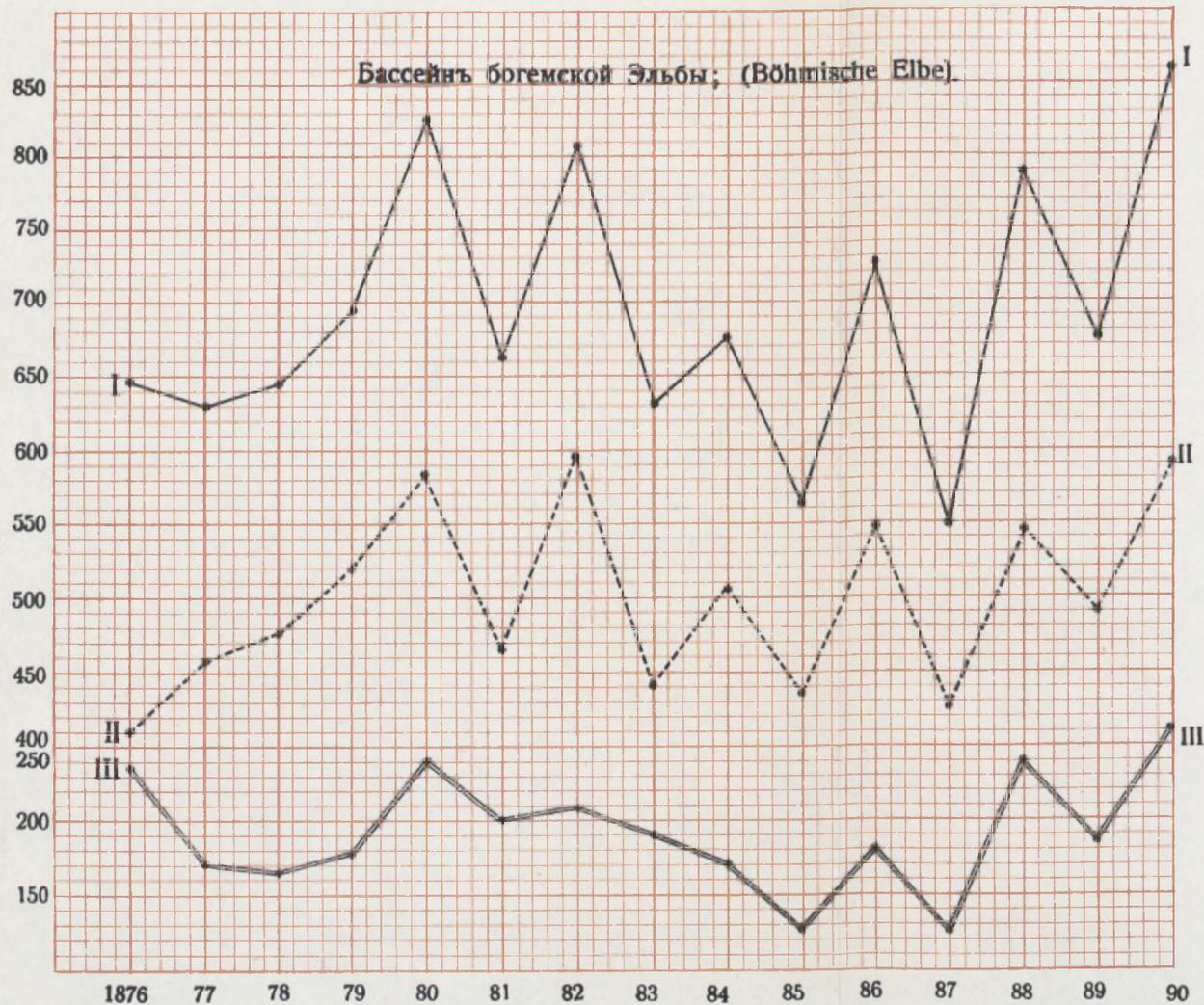
II Испарения (---) и III стока (==);

II der Verdunstung (---); III des Abflusses (==);

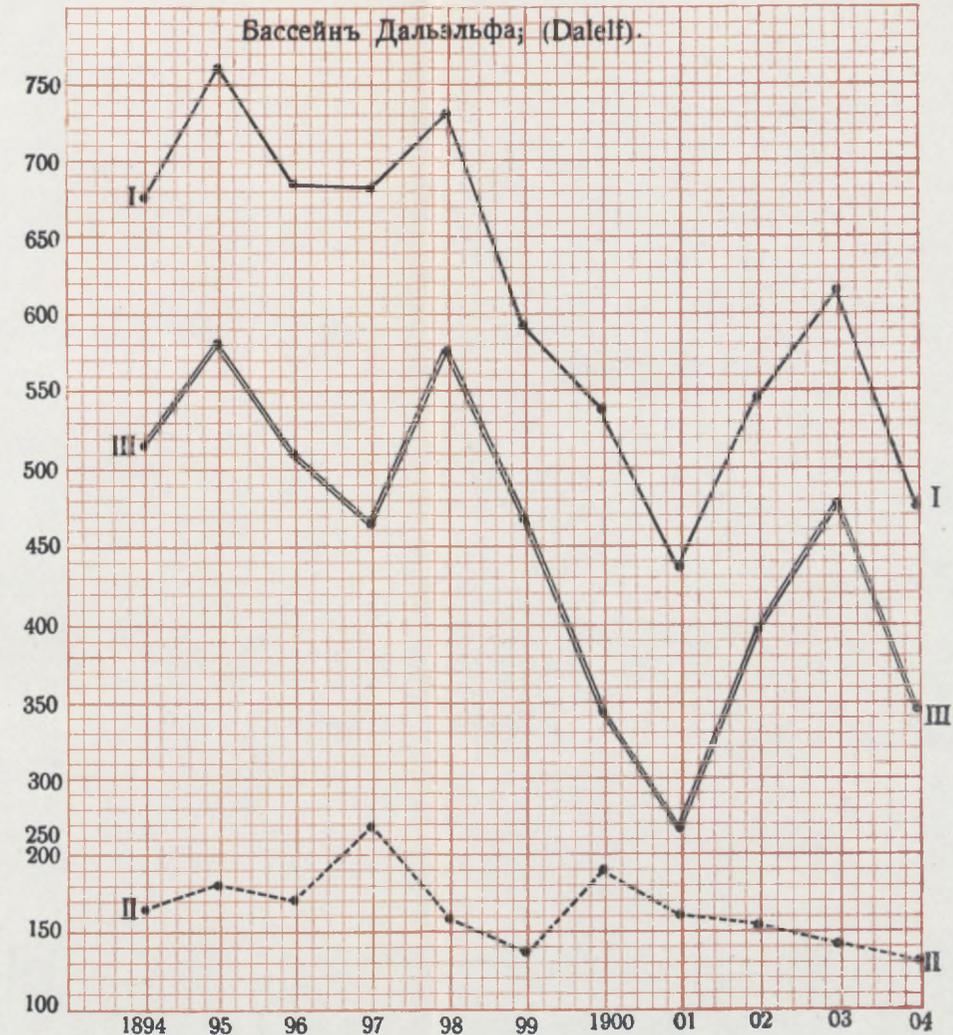
I.



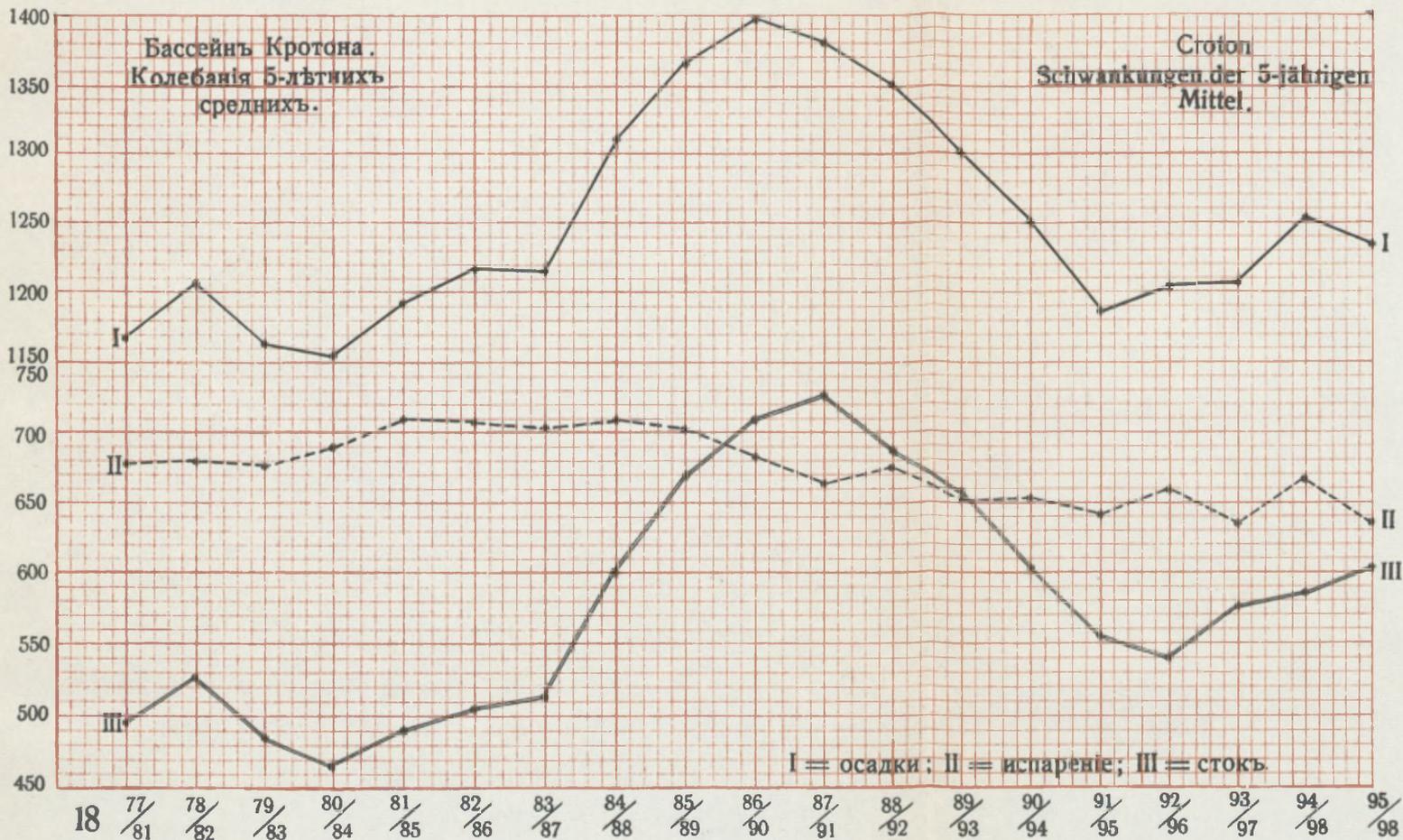
II.



III.



IV.



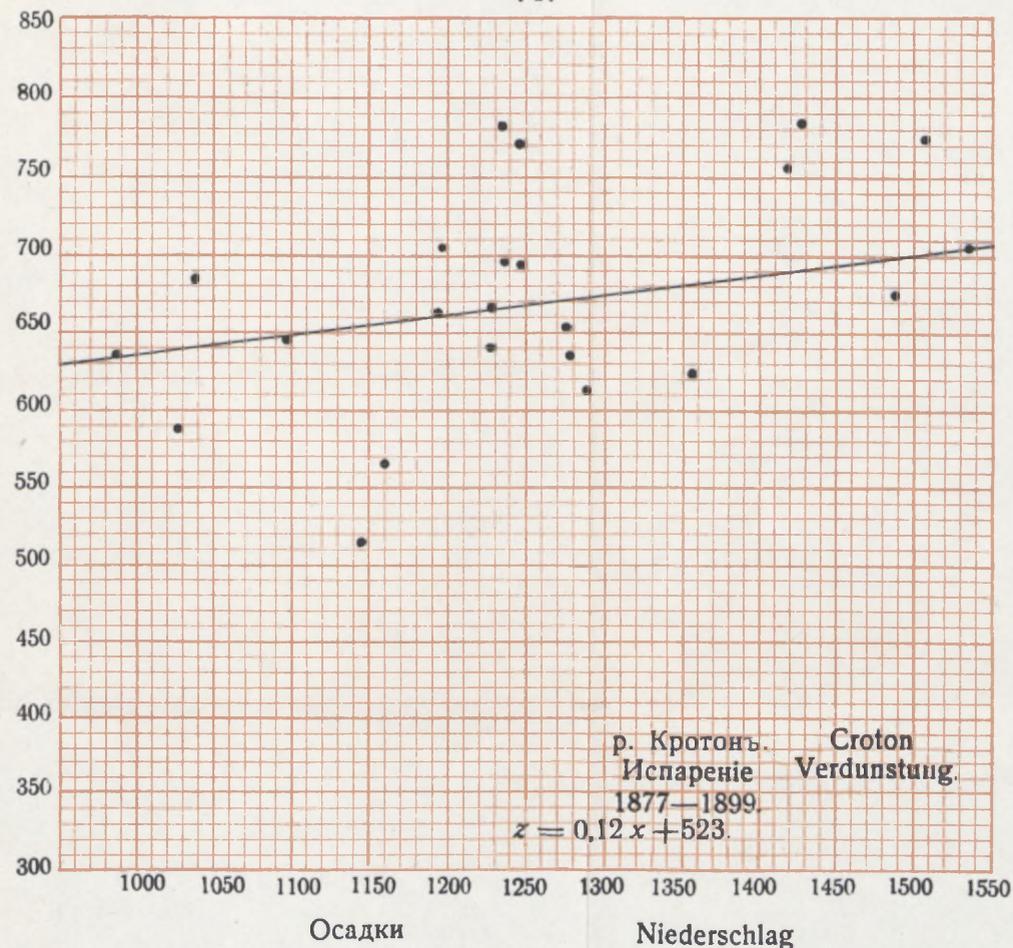
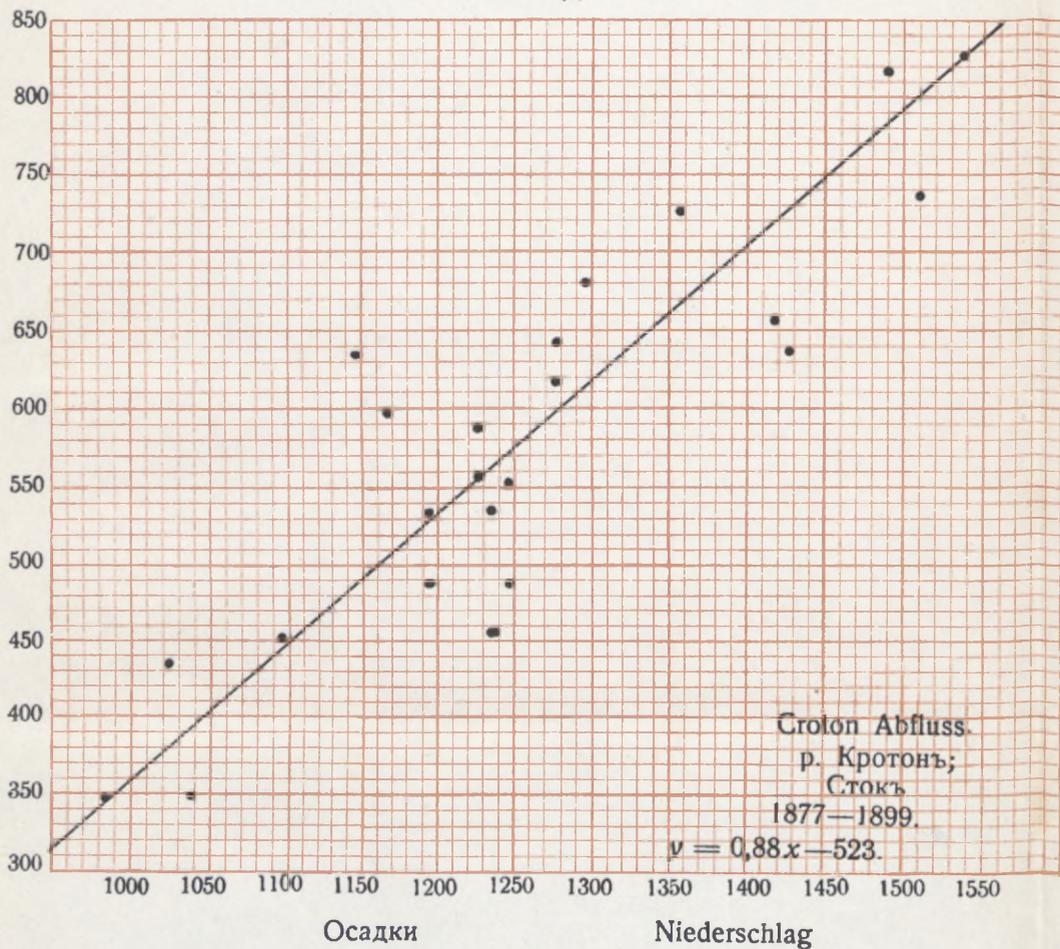
Зависимость стока и испарения отъ осадковъ. Abhängigkeit des Abflusses und der Verdunstung vom Niederschlage.

II Испарение (осадки — стокъ), Verdunstung (Niederschlag — Abfluss) = z;

III стокъ, Abfluss = y.

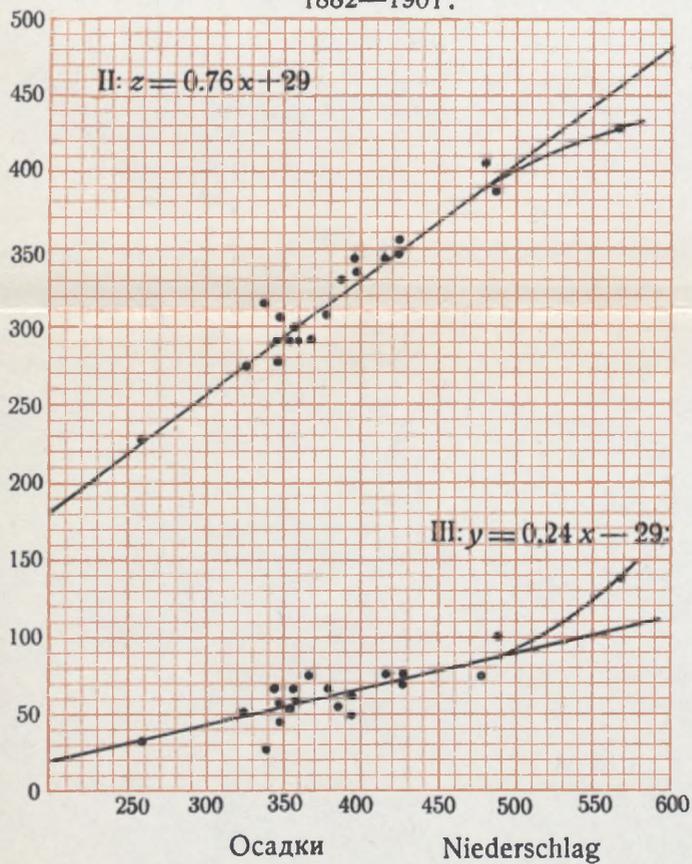
V.

VI.



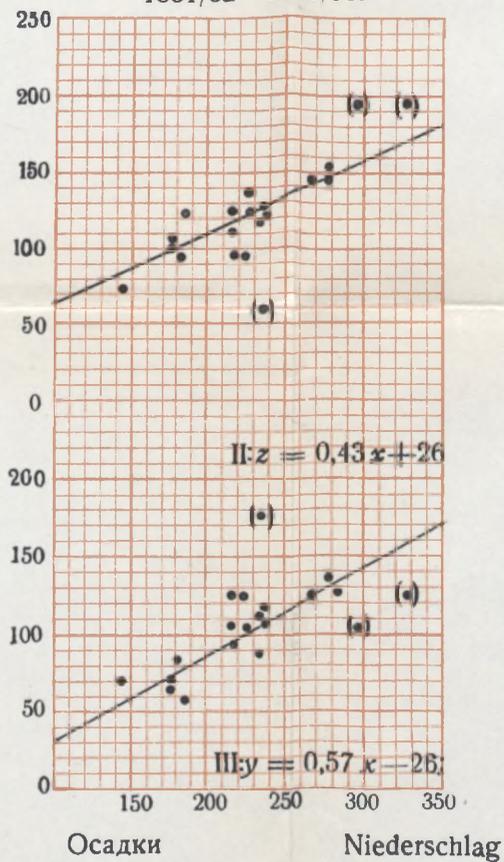
VII.

р. Зала, лѣтнее полугодіе (V—X).
Saale. Sommerhalbjahr
1882—1901.



VIII.

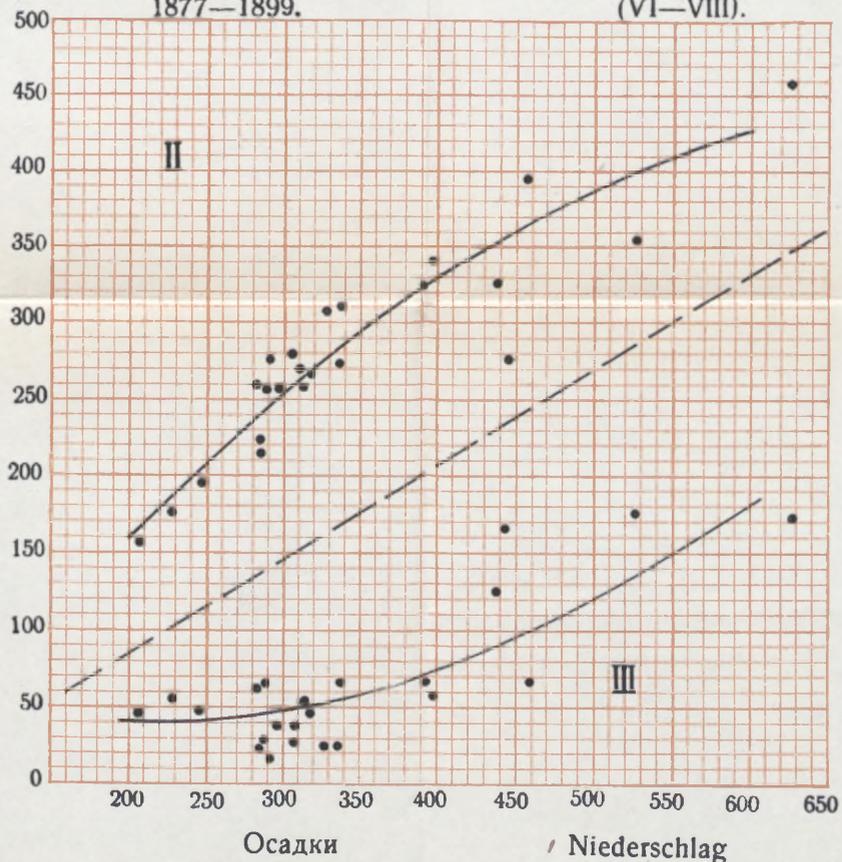
р. Зала, зимнее полугодіе.
Saale. Winterhalbjahr (XI—IV)
1881/82—1900/01.



X.

р. Кротонъ.
Испарение (II) и стокъ (III)
въ лѣтніе мѣсяцы (VI—VIII)
1877—1899.

Croton River.
Verdunstung (II) und
Abfluss (III) im Sommer
(VI—VIII).



Зависимость стока и испарения отъ осадковъ.

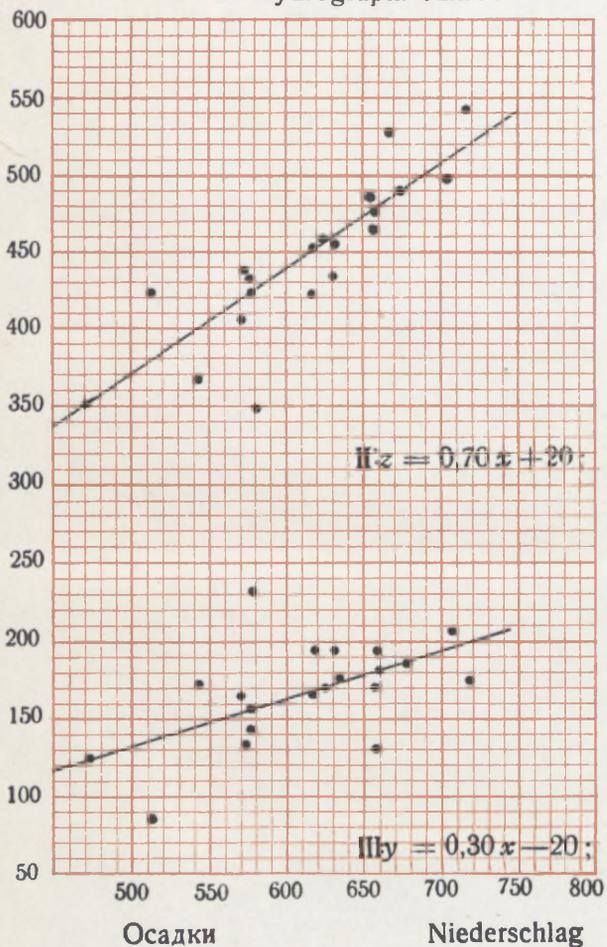
Abhängigkeit des Abflusses und der Verdunstung vom Niederschlage.

II Испарение (осадки — стокъ). Verdunstung (Niederschlag — Abfluss) = z;

III стокъ, Abfluss = y.

IX.

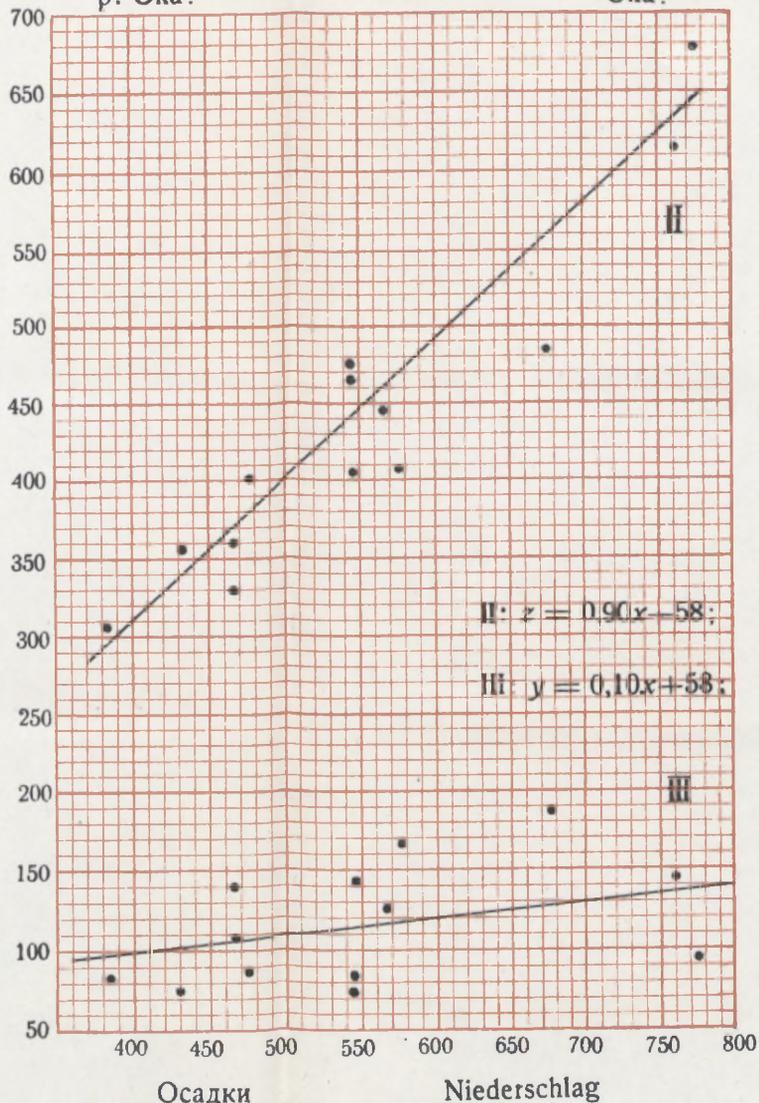
р. Зала, гидрографическіе годы
1881/82—1900/01.
Saale Hydrograph. Jahre.



XI.

р. Ока.

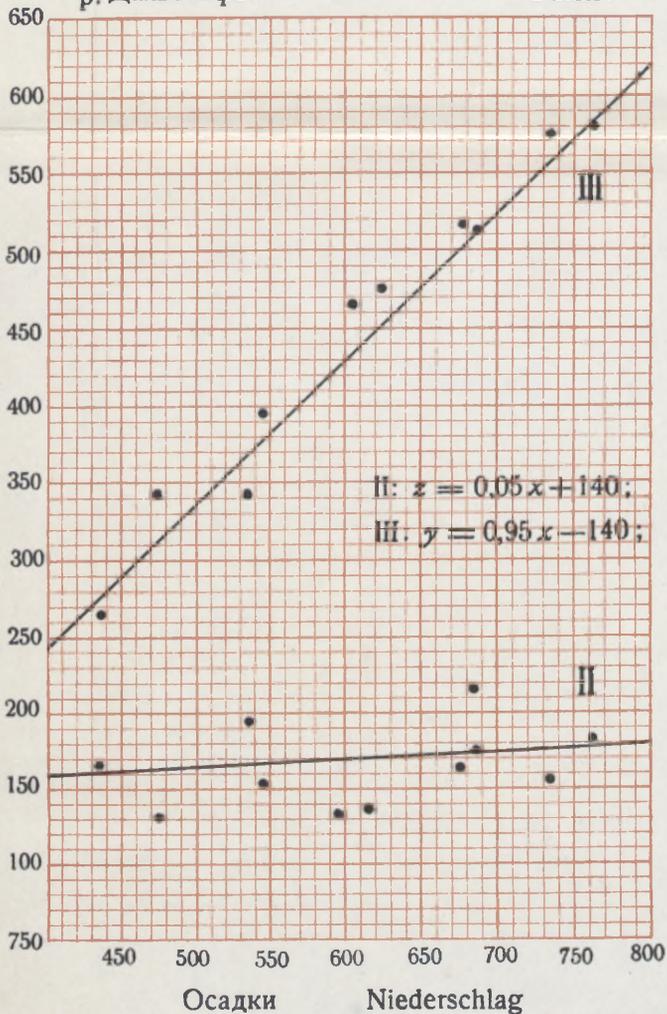
Ока.



XII.

р. Дальельфъ.

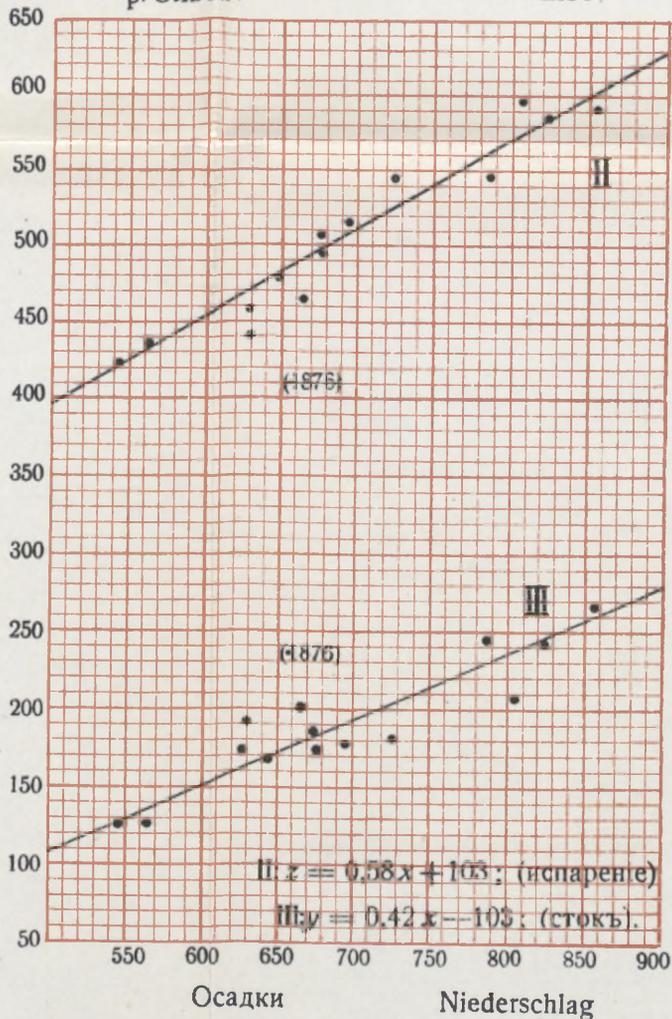
Dalelf.



XIII.

р. Эльба.

Elbe.

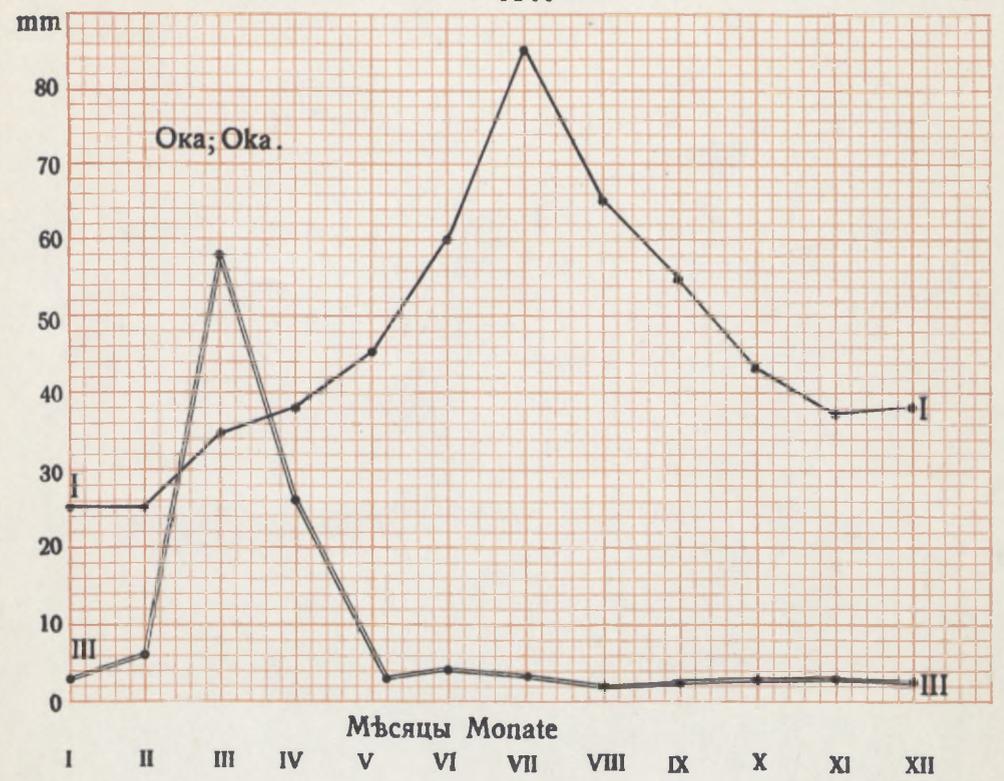
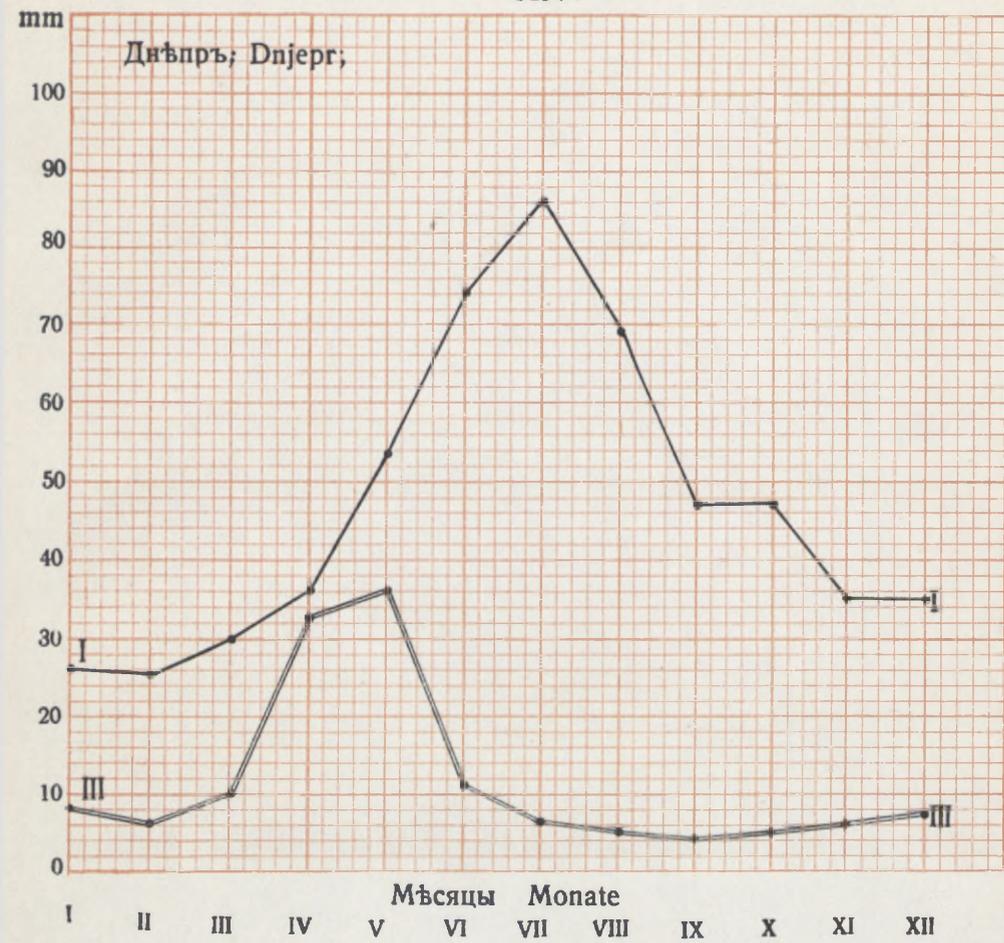


Годовой ходъ осадковъ (I) и стока (III)

XIV.

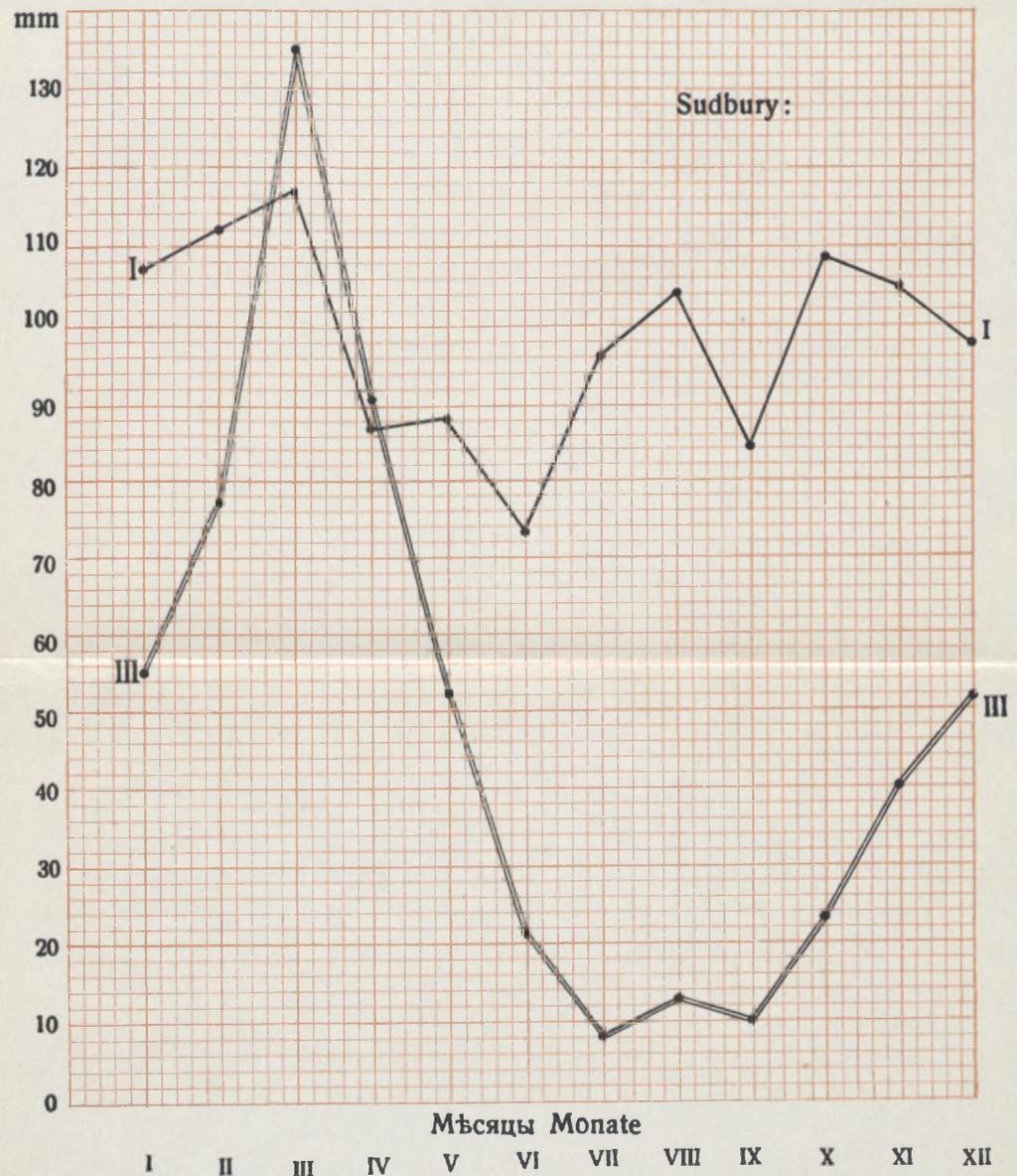
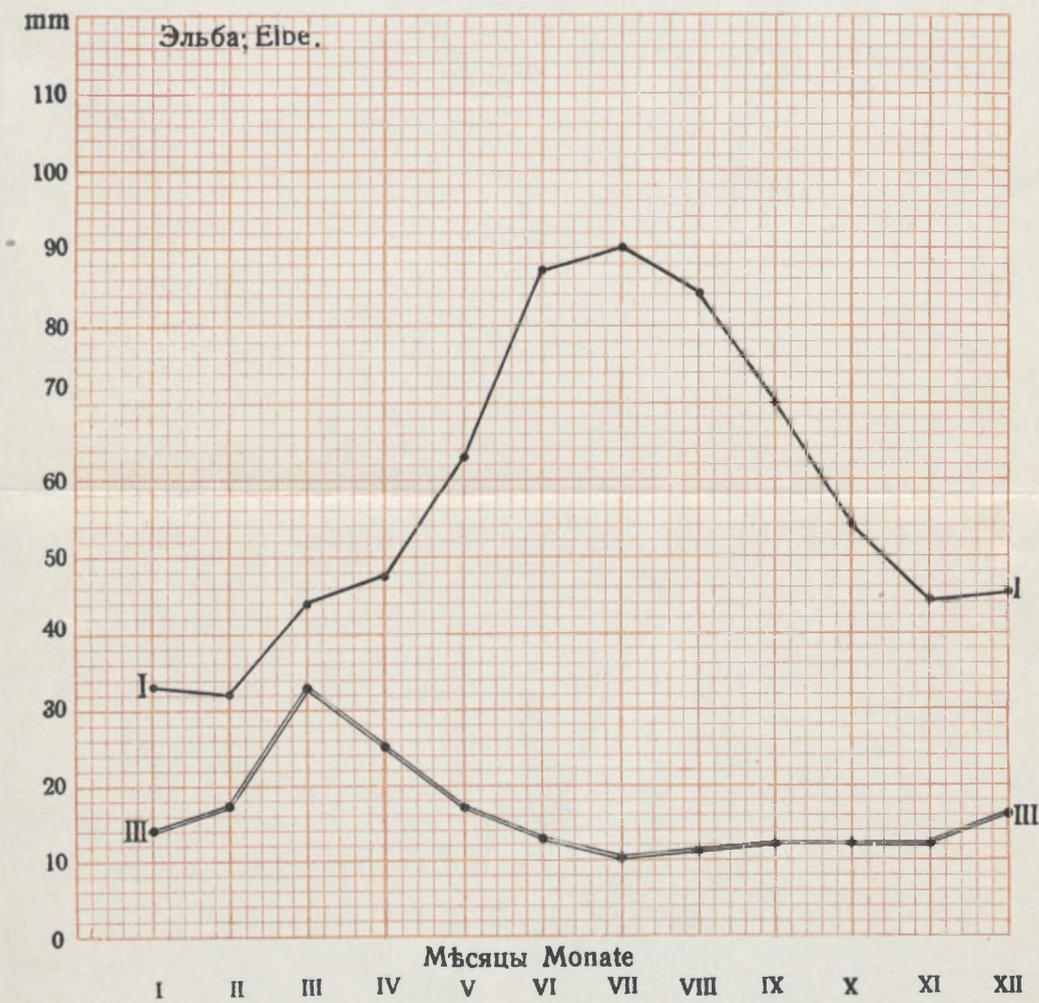
Jährlicher Gang des Niederschlages (I) und des Abflusses (III)

XV.



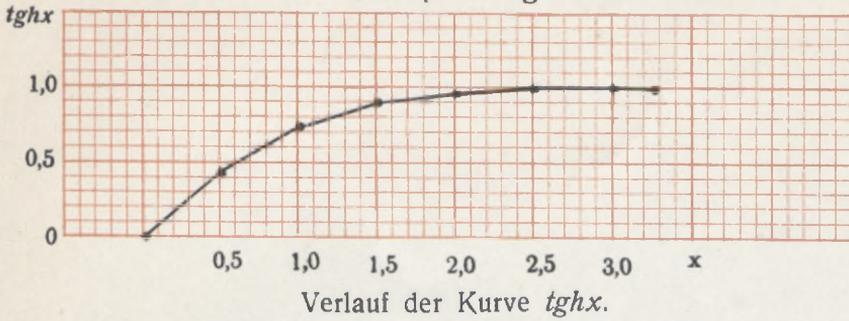
XVI.

XVII.



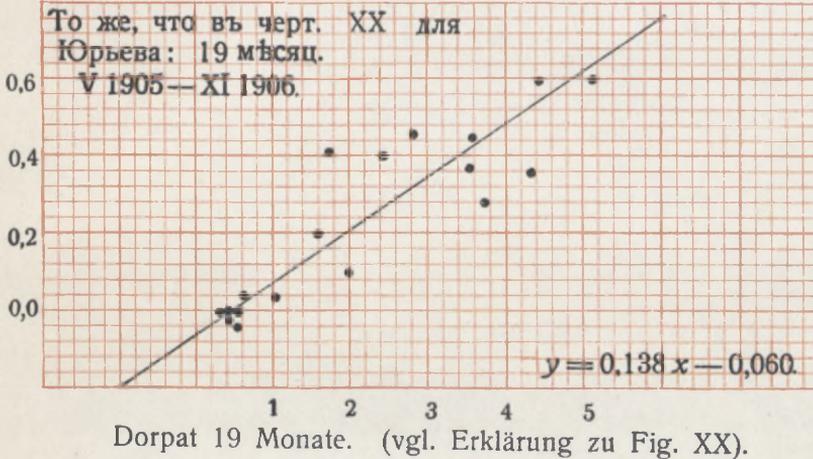
XVIII.

Видъ кривой $tghx$.

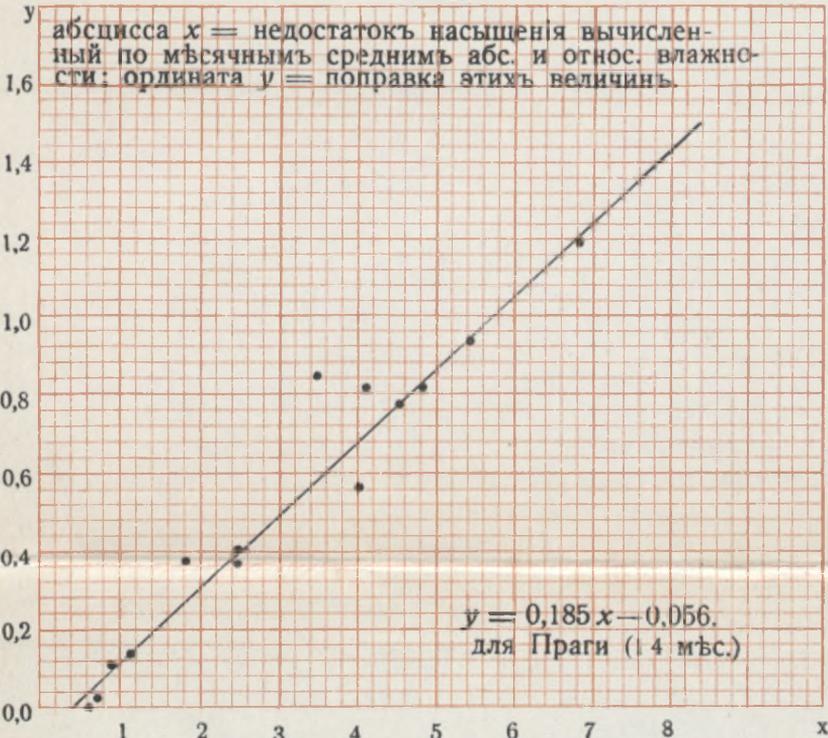


XIX.

То же, что въ черт. XX для
Юрьева: 19 мѣсяц.
V 1905—XI 1906.



XX.



Abszisse X = Sättigungsdefizit, berechnet nach den
monatlichen Mitteln von absoluter und relativer
Feuchtigkeit für Prag (14 Monate); Ordinate y = wah-
res Sättigungsdefizit minus x .