

Янин Е.П. Оценка воздействия на окружающую среду возможности практического использования и особенности химического состава росы // Экологическая экспертиза, 2015, № 6, с. 2–23.

Роса является наиболее распространенным видом наземных гидрометеоров и представляет собой мельчайшие капли воды, образовавшиеся в процессе конденсации на земной поверхности, особенно на траве, а также на горизонтальных поверхностях предметов, вечером и ночью в теплое время года [24, 46]. Причина выделения росы состоит в охлаждении поверхности почвы и особенно растительности (травы, листья) путем ночного излучения до точки росы (т. е. до температуры, до которой нужно охладить воздух или другой газ, чтобы содержащийся в нем водяной пар достиг состояния насыщения [32, 40]). Как заметил в свое время Жан Батист Буссенго, происхождение росы всегда одно и то же – из водяных паров, находящихся в воздухе; появление ее всегда определяется одной и той же причиной – понижением температуры тех тел, на которых она конденсируется [10]. Сгущение водяных паров происходит при этом не в самом воздухе, а в месте соприкосновения его с охлажденной поверхностью; таким образом точка росы должна достигнуть самая поверхность земли, тогда как температура прилежащего слоя воздуха может быть выше и он может быть и не насыщен парами [32]. Этим объясняется то обстоятельство, что обычно роса не сопровождается туманом, требующим для своего образования насыщения самого воздуха парами. Если осаждение паров происходит при температуре ниже 0⁰С, то образуется, так сказать, твердая роса (мелкие кристаллики льда), которая называется инеем.

Самые благоприятные условия для образования росы создаются в ясные слабоветренные ночи, когда радиационное излучение наиболее сильное, а слабый ветер приводит к охлажденной поверхности все новые и новые порции влажного воздуха [24, 32]. Больше росы отлагается на тех поверхностях, которые сильнее охлаждаются ночью. Обильнее роса бывает в понижениях рельефа, на поверхности рыхлых почв по сравнению с более плотными и на поверхности растительного покрова по сравнению с почвами без растительности. Роса особенно часта и обильна в конце лета и начале осени, когда воздух содержит еще много водяного пара, а удлинившиеся ночи усиливают радиационное охлаждение. В лесу при эффективном излучении наиболее сильно охлаждается верхняя часть полога древостоя, поэтому роса образуется преимущественно здесь. Для появления росы требуется наличие водяных паров в воздухе; сколько-нибудь заметная роса не может образоваться при значительной сухости воздуха [32, 46]. Вследствие этого роса чаще наблюдается и бывает сильнее в теплых, влажных странах, чем в холодных и сухих; очень обильная роса получается на островах и морских берегах тропических стран; в горных долинах и котловинах роса образуется обильнее, чем на соседних холмах. В теплых и влажных тропических областях роса настолько обильна, что может стекать с деревьев и крыш. Обильное осаждение росы на растительном покрове и на листве деревьев объясняется большой лучеиспускательной способностью их, близкой к лучеиспусканию черного тела; кроме того, поверхности их шероховатые. Наконец, испарение с поверхности растительности велико: оно, с одной стороны, способствует охлаждению и, с другой, наделяет воздух запасами водяных паров, которые затем отлагаются в виде росы. Количество росы, осаждающееся на различных поверхностях почвы и предметах, далеко не одинаково; в самом деле охлаждение различных тел далеко не одинаково; темные и шероховатые поверхности лучеиспускают сильнее и потому сильнее охлаждаются; сильнее охлаждаются также плохие проводники тепла [32]. Количество образующейся росы может сильно изменяться в зависимости от географических условий, местных особенностей и характера поверхности (табл. 1).

**Количество росы, образующейся в разных районах мира (слой воды, мм)
[6, 13, 15, 24, 26, 27, 41, 44, 46, 56, 57, 75] ***

Район	За ночь	За год **
Умеренные широты	0,01–0,5	до 10–50
Средняя Европа	–	до 10 и более
Тропики	до 3	–
Южная Африка	–	40 и более
Средняя полоса ЕТР	–	до 40 и более
Крайний Северо-Восток России	0,3–0,5	–
Горный Крым	–	41
Англия	–	38
Далмация	–	9,3–20
Северо-западная Индия	–	20–30
Иерусалим	0,5	33

* Наиболее обильны атмосферные осадки, т. е. вода в жидком или твердом состоянии, выпадающая из облаков (дождь, снег, крупа, град) или осаждающаяся непосредственно на земной поверхности и различных предметах (роса, изморозь, иней в результате конденсации водяного пара воздуха), в экваториальных широтах, где годовое их количество превосходит 1000–2000 мм. К северу и югу от экваториальных широт количество осадков уменьшается, достигая минимума на 25–35°, где среднегодовое значение их не превышает 500 мм и уменьшается во внутриконтинентальных районах до 100 мм и менее. В умеренных широтах количество осадков несколько увеличивается (800 мм). В высоких широтах годовое количество осадков обычно незначительно (~ 100 мм).

** 1 мм влаги равен поступлению 10 т воды на 1 га, 40 мм – 400 т дополнительной влаги на 1 га.

Несмотря на незначительное абсолютное количество и малую относительную долю воды росы в общем годовом количестве атмосферных осадков, росная вода в некоторых районах мира играет достаточно важную роль в общем водном балансе территорий. В ряде случаев росообразование может быть значимой физической составляющей водного баланса [49] и рассматривается в качестве природного механизма регуляции тепломассообмена в экосистемах [23]. В работе [23] показано, что испарение капель росы значительно отличается от испарения с водной пленки такой же массы. Затраты тепла на испарение воды с поверхности капель больше, чем на испарение с плоской водной поверхности. Скопленная на поверхности экосистем роса образует «запирающий слой», который препятствует испарению почвенной влаги, поскольку внутри экосистемы влажность воздуха равна 100%. Этот слой существует около 5–6 часов в течение суток, причем в это время испарение с поверхности почвы практически отсутствует. На земном шаре есть регионы, где количество влаги в росе достигает 10–30% годовой суммы осадков [27]. Конденсация атмосферной влаги имеет особенно большое значение в предгорных и горных районах и является важным дополнительным источником увлажнения. Так, например, на южных склонах гор Рила (Болгария) она составляет в среднем 2,1%, а в отдельные годы достигает 11,5% общего количества осадков [58]. Особенно благоприятные условия для интенсивной конденсации присущи районам с континентальным климатом, с большими суточными колебаниями температуры воздуха и почвы. Конденсационная влага должна учитываться в водном балансе речных водосборов с малым количеством атмосферных осадков, где может составлять до 16% разности «осадки – испарение» [15]. Проведенные на стационаре Тебенак в Колпашевском районе Томской области трехлетние наблюдения за динамикой росообразования, совместно с наблюдениями за динамикой суточного и годового хода водного и температурного режимов почв и экосистем, показали, что роль росообразования в суточном тепловом и водном балансах экосистем и подстилающих их почв может достигать 25% и 10% соответственно [23]. Конденсации отводится определенная роль в формировании ресурсов грунтовых вод [21]. М.И. Кучин [25], рассматривая условия формирования подземных вод в бассейне р. Кулунды (Алтайский край), отметил большое значение грунтовых вод боровых песков, представляющих хорошие аккумуляторы атмосферных осадков, а также водяных паров путем конденсации. В пределах Центрально-Уральского поднятия дополнительным источником питания подземных вод служит конденсация паров воздуха в трещинах пород зоны аэрации на гребнях хребтов, бла-

годаря резким суточным колебаниям температуры [1]. Установлено чисто конденсационное питание речки, находящейся в 23 км от г. Симферополя [14]. Большой объем работ по изучению конденсационных процессов в почвогрунтах и приземном слое, прямому освоению воды был выполнен Н.Ф. Лукиным, обосновавшим конденсационную теорию происхождения подземных вод [28, 29].

Существует предположение, что за счет снижения температуры листьев и побегов ниже точки росы растение может активно конденсировать влагу из воздуха, увеличивая продолжительность выпадения росы [42]. Вечернее выпадение росы на поверхности растений начинается раньше, чем формирование тумана. Утренний этап конденсации продолжается некоторое время после того, как температура воздуха превышает точку росы. Рассматриваемое явление встречается повсеместно, но имеет особое значение для растений аридных экосистем. Конденсация осуществляется за счет механической сорбции микрокапель воды, что имеет особое значение в случае одного из лучших известных «конденсаторов тумана» – сосны канарской (*Pines canariensis*) [45, 60]. Многочисленные, длинные (20–30 см), ниспадающие иглоподобные листья этой сосны, обитающей на горных склонах Канарских островов, способны сорбировать достаточное количество влаги, что обеспечивает не только потребность самого растения, но и значительно повышает влажность почвы в монтеверде (поясе вечнозелёных лиственных лесов западных и центральных Канарских островов, который располагается на высотах 400–1500 м над уровнем моря в условиях постоянного воздействия пассатов), что даже используется в лесном и сельском хозяйстве для выращивания растений, орошаемых с помощью сосны. Большинство растений непосредственно росу не потребляют. Тем не менее роса, смачивая листья растений, играет не малую роль в их жизни и является важным источником влаги в засушливые периоды и особенно в аридных районах [3, 24]. Роса позволяет растениям полностью или частично возместить дефицит влаги и восстановить тургор. Особенно велика роль росы как источника влаги для растений в засушливых и пустынных регионах. Так, показана возможность использования росы некоторыми кустарниками в пустынях Зап. Африки.

Конденсационная влага является важным средством для развития членистоногих и других организмов в семиаридных и аридных условиях [76, 78]. Например, в африканской пустыне Намиб местные жуки вида *Onymacris unguicularis* демонстрируют уникальный способ сбора воды прямо из воздуха, точнее из утреннего тумана, который ветер пригоняет вглубь пустыни со стороны моря. Жуки забираются на дюны, поднимают брюшко вверх по направлению к ветру. Такое положение позволяет воде конденсироваться на выступах надкрыльев, а потом стекать по центральному желобку вдоль шва надкрыльев в рот насекомому. Таким образом жукам удаётся собрать воду, которая по объёму может достигать 40% от их собственного веса. Секрет эффективности этого метода кроется в чередовании гидрофильных (притягивающих воду) и гидрофобных (отталкивающих воду) областей на надкрыльях насекомого [71]. Подробности этих процессов и приспособлений жуков изучают работники пустынной научной станции Гобабеб с целью разработки методов использования конденсированной влаги в хозяйстве [16]. Следует отметить, что роса является важным источником воды для пчел, в том числе, на пасеках во время кочевки [31]. Кстати, известны случаи отравления пчел пестицидами при потреблении росы, что, в данном случае, определяет необходимость изучения ее химического состава.

Хорошо известно, что наличие на поверхности металлоконструкций влаги усиливает их атмосферную коррозию [54]. Влага чаще всего поступает в качестве атмосферных осадков (дождь, туман, роса). Пленка влаги на поверхности металла может возникать вследствие попадания осадков, а также из-за капиллярной конденсации влаги на поверхности [2]. При снижении температуры вечером и ночью относительная влажность воздуха резко увеличивается, что приводит к выпадению росы на поверхности металлов и увеличению электрохимической коррозии [30]. Не исключено, что химический состав росной воды определяет ее коррозионную активность.

Человек достаточно давно стал предпринимать попытки сбора росы с целью использования ее в качестве воды для питьевых и хозяйственно-бытовых целей [61]. Древние примитивные устройства для сбора росной воды известны во многих местах мира, были разработаны также простые, но очень эффективные устройства и способы сбора и сохранения сконденсированной за ночь влаги. При путешествиях в сухих, пустынных местах в дорогу брались специальные глиняные и каменные чашки, которые применялись для сбора росы. Сообщается об искусственных бассейнах («росных прудах»), конденсирующих атмосферную влагу, которые использовались в Англии для сбора воды. В пустынях с давних времен росу собирают с помощью груды камней, на которых естественным образом конденсируется влага, находящаяся в воздухе. Особую известность приобрели так называемые конденсационные родники. К возможности их использования в народном хозяйстве привлекали внимание многие исследователи [50]. Во многих регионах мира вода не может быть использована для нужд сельского хозяйства из-за повышенного содержания солей. Проблема дефицита пресной воды здесь решается путем ее завоза или путем конденсирования водяных паров, находящихся в атмосферном воздухе, а также путем нагревания соленой воды за счет солнечной радиации и конденсации паров на охлажденных поверхностях. При конденсации влаги из атмосферного воздуха используют так называемые «дышащие колодцы», которые работают следующим образом. В почве копаются колодецы. При повышении давления в атмосфере воздух заходит в колодец, охлаждается в нем, поскольку температура в колодце ниже, чем на поверхности земли, и отдает часть влаги, которая конденсируется на дне и стенках колодца и впитывается почвой. В Дагестане для получения конденсационной воды поступают следующим образом [49]. На поле собирают кучки камней, выстраивая небольшие пирамиды. Камни за ночь очень быстро остывают, на них конденсируется большое количество воды, которая стекает между ними и впитывается в почву. Днем эта впитавшаяся вода не может быстро испариться из почвы, так как каменная пирамидка играет роль мульчи, предохраняя от быстрого испарения. Таким способом не только накапливают воду в почве, но и отмывают почву от легко растворимых солей, т.е. рассоляют солончаки. Необходимо также упомянуть о том, что во многих засушливых районах от Мавритании до пустыни Негев в Израиле встречаются кучи камней, которые (согласно народным преданиям) использовались для получения воды, но ни одно из этих сооружений не действует в настоящее время.

Конденсация играет существенную роль в водном балансе Горного Крыма. Это определило тот факт, что атмосферная влага, осаждающаяся на земной поверхности (скалах) в виде росы, использовалась для водоснабжения средневековых городов Крыма [18, 19, 17, 22, 36]. Так, система накопления подземной воды, а также воды, получаемой в конденсаторах атмосферной влаги, еще три столетия назад позволяла обеспечивать 70 тыс. жителей Феодосии питьевой водой [39]. Есть сведения, согласно которым постоянно возобновляемый водяной пар атмосферы обеспечивал водой поселения древних греков (генуэзцев) на побережье Черного моря еще 25 веков назад [50]. В начале XX в. лесничим Феодосийского лесничества Таврической губ., одним из инициаторов горного лесокультурного мелиоративного лесничества Ф.И. Зибольдом на горе Тепе-Оба был построен уникальный конденсатор для получения жидкой воды из водяного пара атмосферы, получивший название «Чаша Зибольда» или «Воздушный колодец Зибольда», который давал 432 л воды в сутки [18, 19]. Ф.И. Зибольд считал, что в древности использовали конденсацию водяных паров на собранных в кучу камнях, которые днем нагреваются, ночью охлаждаются, под утро дают капли росы; эта вода по капелькам собираясь в водосборник, питала город. Несколько позже Н.Н. Жуков в своей статье, посвященной истории водоснабжения Феодосии, подтвердил идею Ф.И. Зибольда о конденсационном питании фонтанов [17].

Опыты Зибольда получили высокую оценку отечественных и зарубежных специалистов. Аналогичные опыты несколько позже были проведены в Германии, Франции, Польше, Сенегале (например, установка на юге Франции, в местечке Транс-ан-Прованс, известная как «Ziebold machine», т. е. машина Зибольда) [20]. Однако, к сожалению, в ходе

этих опытов удавалось получить небольшое количество конденсационной воды. Эксперимент Зибольда в 2004 г. повторили в Старом Крыму. На горе был установлен конденсатор площадью 10 кв. м. При высокой относительной влажности воздуха (более 90%) за 5,5 часа удалось получить всего лишь 6 литров чистой питьевой воды. Так что «Чаша Зибольда» по-прежнему остается наиболее эффективно сконструированным образцом конденсатора атмосферной влаги, а эксперимент феодосийского лесничего – первым в мире удачным опытом получения конденсационной воды. Некоторые авторы считают, что результаты, полученные Зибольдом, тем более удивительны, поскольку его гипотеза оказалась ошибочной. Как выяснилось в 1930-х (и эти выводы были подтверждены международными исследованиями в 1990-х), кучи щебня, обнаруженные Зибольдом на склонах Тепе-Оба и вдохновившие его на сооружение своей чаши, на самом деле не имели никакого отношения к гидротехнике и древним конденсаторам, а оказались античными погребальными курганами.

Тем не менее, имеющиеся исторические и археологические данные, свидетельствуют, судя по всему, о правильности гипотезы Зибольда. Так, в 20 км на восточное г. Севастополя находится городище Эски-Кермен, древнее название которого неизвестно [53]. В XII–XIII вв. это поселение не имело укреплений, было открытым (раннесредневековые крепостные стены, позднее утратившие боевое значение, были большей частью разобраны). В XII–XIII вв. это был, по-видимому, экономически развитый городок со своим ремесленным производством своими кузнецами и своими гончарами. Во время осады жители пользовались подземным хранилищем воды, куда спускались по лестнице в 95 ступеней. Было установлено, что для водоснабжения поселения использовалась атмосферная влага, осаждающаяся на поверхности скалы в виде ночной росы [43]. При близости моря и при высокой дневной температуре воздух должен быть в достаточной мере насыщен сыростью ночью, – а ночи даже среди лета стоят в горах прохладные – скала сильно остывает и действует как гигантский конденсатор. Как считают авторы цитируемой работы, техника водоснабжения в горном Крыму заключается, следовательно, прежде всего в уловлении максимального количества осаждающейся на поверхности и просачивающейся вглубь гигроскопической породы росы, а затем – в поставке уловленной воды из наиболее для этого благоприятных мест к потребителю, т. е. в город, на поля, в сады, виноградники и т. п. В верховьях балки Бильдеран до нашего времени сохранились явственные следы заплывших землею до краев, но, по всей вероятности, совершенно целых, вырубленных в сланцах дренажных сооружений. Аналогичные сооружения известны в соседних Херсонесе и Инкермане. Очевидно, что такой способ водоснабжения использовался и в древнем Солхате. Солхат (ныне г. Старый Крым) уже в начале XIV в. был относительно большим торговым и ремесленным городом, одним из наиболее важных центров экономической жизни Крыма [53]. В известной повести К. Паустовского один из ее героев пытался восстановить древнюю систему водоснабжения, догадавшись, что «Солхат собирал и пил горную росу. Она оседала на гальке, конденсировалась на ней во время переходов от ночного холода к жарким дням и стекала на дно каменных бассейнов. Оттуда по трубам роса струилась в мраморные городские фонтаны». Колодцы эски-керменского образца вовсе не представляют чего-либо специфического именно для Крыма; они встречаются и на переднеазиатском востоке (например, колодец в Румкала на Евфрате), в нескольких местах восточной Малой Азии – в Персии, в Кале-кей, в Турхале [43].

На Канарских островах, где практически нет пресных источников водоснабжения (за исключением выпадающих атмосферных осадков), жители собирают росу с листьев деревьев, а наиболее интенсивного «концентратора» росной воды – канарскую сосну используют, как отмечалось выше, для орошения в лесном и сельском хозяйстве [45, 60]. Здесь местными жителями был изобретен совершенно уникальный способ для выращивания винограда и других сельскохозяйственных культур. Например, уникальное зрелище представляют собой знаменитые виноградники Лансароте, с высоты птичьего полета напоминающие лунный пейзаж. Лозы высаживают в широкие лунки, а края этих «кратеров»

обкладывают мелкими камнями (благодаря такому способу посадки удается собирать утреннюю и вечернюю росу). Каждая виноградная лоза высаживается в воронке диаметром около 5 м и глубиной около 1 м. Эта яма окружена полуметровой стеной из камня, выложенной островитянами. Стена предназначена для защиты лозы от ветров, но, кроме того, подобное устройство является своеобразной системой естественного орошения, поскольку образующаяся ночью роса хорошо впитывается и удерживается вулканической почвой. Известно, что на о. Брера в архипелаге Зеленого Мыса (Атлантический океан, к западу от Африки) местное население с листьев лилии собирает ежедневно до 200 л росы. Там же стволы деревьев обкладывают камнями, в пористой куче которых конденсируются водяные пары, и таким образом питают корневую систему дерева пресной водой.

В 1876 г. в России вышла книжка И. Бочинского «О различной стоимости бураков и сахара, производстве и их обработке, а также об использовании атмосферных удобрительных веществ, основанное на новом методе обработки почвы», где ее автор впервые обнаружил идею почвенной ирригации и заявил о новом опробованном им методе обработки почвы – без пахоты. Доводы он приводил следующие. Разница между температурой почвы на глубине 70 см и температурой воздуха над почвой с мая и до сентября может достигать до 12°C. По этой причине без пахоты сахарная свекла (как и другие культуры) может давать прибавку урожая без полива даже в засуху, благодаря эффекту росы. В воздухе всегда находится какое-то количество влаги, которую можно использовать при засухе вместо полива. Суть явления в том, что чем выше температура воздуха, тем больше его относительная влажность. Так, в засуху при температуре воздуха 50°C в каждом его кубометре содержится 92 г воды. Как только этот воздух проходит в почву и охлаждается там до температуры, допустим, 40°C, то в силу физических законов количество содержащейся в этом воздухе воды уменьшается до 55 г. Разница (92–55 г), равная 37 г, передается почве в виде росы (конденсата), что, в сущности, и является первым условием так называемой атмосферной ирригации почвы. И. Бочинский также обратил внимание на то, что вместе с росой почва может поглощать большое количество газов и пыли, находящихся в атмосфере. Следовательно, этим путем атмосфера может снабжать почву и влагой и питанием для растений. Последователь И. Бочинского, агроном Ткаченко, проведя подсчеты осаждения ночной росы в слое толщиной в 70 см, получил цифру в 61000 ведер на гектар. Помимо того роса включает в себя частицы азотных соединений, поэтому вместе с росой в почву приходит до 60 кг азота на гектар. Идеи И. Бочинского были высоко оценены И.Е. Овсинским (1856–1909) – основоположником почвозащитной системы земледелия, пионером отечественного бесплужного земледелия, ставшего основой возобновляемого органического растениеводства, сумевший в рамках новой системы земледелия обеспечить более глубокое взаимодействие между почвой, растением и внешней средой [33, 34]. В конце XIX в. идеи И.Е. Овсинского с одобрения П.А. Костычева нашли практическое применение в степной Украине. Крестьяне, эмигрировавшие в Канаду и Америку, возродили их в 1930-е годы на машинной тяге в виде почвозащитного земледелия. В своей «Новой системе земледелия» Овсинский отмечал особую роль росы в питании растений азотистыми соединениями («роса есть самый обильный источник азота»; «из всех атмосферных осадков роса содержит наибольшее количество азотистых веществ») [34]. В частности, он утверждал, что количество аммиака и азотной кислоты, получаемое почвой из росы, тумана и инея, равно количеству, получаемому от дождя и снега, причем оно будет больше, если мы сумеем искусной обработкой удержать в почве значительное количество росы. По его данным, «роса содержит 138 млн. частей (138 ppm) азотных соединений» и «доставляет в почву около 60 кг/га азота, т. е. количество, значительно превышающее потребность растений». Надо отметить, что уже в середине XIX в. Ж.Б. Бусенго [8–10] указал на значимость росы как источника соединений азота для почвы, о чем будет рассказано ниже.

К.Э. Циолковский в статьях «Вода в сухих и безоблачных пустынях» и «Освоение жарких пустынь» рекомендует осуществлять конденсацию воды из воздуха в так назы-

ваемых «воздушных колодцах» [47, 48]. Как отмечалось выше, принцип получения воды таким способом известен уже с давних пор. Еще древние греки выкапывали в засушливых местах на склоне гор глубокие ямы, заполняя их крупными камнями. Теплый атмосферный воздух, попадая в такие канавы, в результате соприкосновения с холодной поверхностью камней охлаждается. При этом часть находящихся в нем водяных паров конденсируется и в виде капелек воды стекает на дно. Используя этот принцип, К.Э. Циолковский совершенствует технику процесса. Он рекомендует сооружать в земле длинные ямы-траншеи, выкладывая их стенки слоем глины, цемента или кирпича, не пропускающим воду. Такие траншеи засыпаются камнями и мелкой галькой и закрываются слоем глины. На них, как на фундаменте, можно сооружать жилые постройки. Рано утром, когда атмосферный воздух еще холодный, он может продуваться через траншею с помощью роторной воздуходувки, охлаждая камни и гальку. Днем, когда воздух хорошо прогрелся, он снова продувается через траншею, охлаждается в ней и теряет при этом часть заключенной в нем влаги. Экспериментальная проверка такого «пневматического» получения воды из воздуха показала высокую эффективность этого способа. К.Э. Циолковский приводит расчеты для получения воды из воздуха в пустынях и использование ее для обеспечения жителей пустынных мест.

К настоящему времени известны многочисленные конструкции установок для интенсификации росообразования и сбора росы. Обзор патентов и изобретений по установкам непосредственного получения воды из воздуха приведен в библиографическом указателе [50]. Работы по возможностям практического использования росы и развитию установок для конденсирования больших количеств росной воды для нужд человека, выполненные в Европе в конце прошедшего столетия, рассмотрены в [67]. В последнее время предприняты усилия по созданию более легких и более эффективных конденсаторов из полимерных пленок [66, 68, 69, 77]. Сообщалось, что устройства конденсации, изготовленные из полиэтиленовой пленки, пигментированной TiO_2 и $BaSO_4$, позволили собирать 0,12 л воды с 1 м^2 за ночь в г. Додома (Танзания) [68].

В Индии роса до недавних пор изучалась только с точки зрения ее вклада в поставку влаги для корневой зоны зерновых культур во время сухого периода [73], а также ее значимости в образовании корки (предохраняющей породы от выветривания и ветровой эрозии) песчаных дюн в пустыне Тар [77]. В то же время в стране существуют районы, где формирование росы достаточно часто и в ощутимых количествах, значимых для людей, особенно в районах с недостатком питьевой воды. В частности, в северо-западном прибрежном районе Индии более 150 сел испытывают острый недостаток воды для хозяйственно-питьевых целей [75]. С этой точки зрения сбор росной воды, как считает автор цитируемой работы, может являться заметным источником воды для населения.

Постоянно возобновляемый водяной пар атмосферы и росная вода справедливо рассматриваются в качестве потенциальных источников воды [51, 52]. Считается даже, что роса может стать решением в борьбе с недостатком воды в мире. Более того, как в свое время отметил Ж.Б. Буссенго, роса является, быть может, единственной формой атмосферных осадков, которую человек может по желанию воспроизвести [10]. Французский ученый ввел понятие «искусственная роса», которую человек может получать с помощью специальных устройств и приспособлений. В настоящее время во Франции создана международная организация (International Organization For Dew Utilization, пропагандирующая использование росы, которая объединила исследователей со всего мира вокруг многообещающего проекта по производству искусственной росы с помощью конденсаторов и ее использованию для снабжения водой засушливых стран [61]. В частности, на сайте указанной организации сообщается, что фабрика росы запущена в Индии и дает возможность собрать от 1000 до 7000 л воды в месяц.

Изучение росы – как составной части атмосферной воды – с давних пор привлекало внимание человека [64]. Научный интерес в основном был направлен на выяснение процессов ее образования и в существенно меньшей степени – на изучение химического со-

става росной воды. Считается, что химический состав росы, образующейся, например, на растениях, резко отличен от состава дождевых осадков [7]. Во многом это обусловлено тем, что вода, конденсирующаяся на листьях, аккумулирует ионы и с поверхности растений. Кроме того, растения активно выделяют жидкость из внутренних тканей листьев в процессе, известном как гуттация. Все это приводит к тому, что в составе росы, как правило, будет относительно высокая концентрация ионов биологического происхождения, таких, как калий и кальций.

Оценкой росы как потенциального источника водоснабжения и в большей степени как источника поступления в почву и растения соединений азота очень интересовался один из основоположников агрохимии, известный французский химик, член Парижской Академии наук Ж.Б. Буссенго (1802–1887) [8–10]. Исследования, проведенные им в Либфрауэнберге (неподалеку от г. Страсбурга) во второй половине 1850-х гг., показали, что содержание аммиака в 1 л росной воды изменялось от 1,02 до 6,20 мг (среднее 4,64 мг/л), дождевой воды – от 0,08 до 1,43 мг (среднее 0,17 мг/л), в тумане – от 2,56 до 7,21 мг (среднее 4,22 мг/л). Содержание аммиака в иине составило 1,23 мг/л. Обогащенность атмосферных осадков аммонием (в отличие от воды рек и источников) он объяснял тем, что «почва постоянно отдает атмосфере пары карбоната аммония и пыль, в которой заключены нелетучие аммиачные соли» [8]. Содержание азотной кислоты в дождевой воде, как установил Буссенго, изменялось от 1,88 до 6,23 мг/л (среднее 3,2 мг/л) [9]. Он особо отмечал, что «роса представляет собою явление, значительное не только по абсолютному количеству ее, выпавшему на какую-либо точку земной поверхности, но также и по обширности той части поверхности земли, где она проявляется. Наиболее заметно и наиболее благоприятно ее влияние на растительность преимущественно в области тропиков... по утрам мне приходилось видеть в степях Мета и Казанары траву, мокрую от росы так, будто она была орошена дождем» [9]. Собранная им на берегу реки Саюер (очевидно, р. Зауер, в Германии, протекает по земле Северный Рейн-Вестфалия) соответствовала по средней величине дождю в 0,14 мм, что эквивалентно 1400 л воды, выпавшей на поверхность 1 га, что, как подчеркивал французский ученый, безусловно, полезно для лугов и посевов, поскольку может смягчить неблагоприятный эффект от продолжительной засухи [9]. Наиболее богатая азотной кислотой роса была собрана Буссенго с клевера в ночь с 21 на 22 октября 1857 г.; она содержала 1,12 мг/л азотной кислоты [9]. Наименее богатая азотной кислотой роса собрана в ночь с 11 на 12 того же месяца на дождемере (0,06 мг/л). Росы, вовсе не имеющие азотной кислоты, ему получить не удалось. Он также проводил опыты по получению «искусственной росы» с помощью созданного им специального холодильника и установил, что концентрации азотной кислоты в «искусственной росе» находились в пределах от 0,05 до 0,1 мг/л. Таким образом, в искусственной росе, полученной вдали от жилых мест, в сплошном лесу, путем конденсации атмосферной влаги, находились следы азотной кислоты. В естественной росе, собранной в то же время в Либфрауэнберге, концентрация азотной кислоты составила 1,1 мг/л.

В работе [65] приводятся результаты исследований влияния росы на скорость сухого осаждения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. Место отбора проб – окраина г. Детройта, шт. Мичиган (США), вблизи автомагистралей с интенсивностью движения до 30 тыс. автомашин в день. Пробы росы отбирались в течение июля – октября 1982 г., а сухих осадений – в июне – августе 1984. Концентрации всех химических веществ оказались выше в росе, нежели в дождевой воде. В частности, роса по сравнению с дождевой водой имела гораздо более высокие концентрации кальция и хлоридов и гораздо более низкую кислотность. Скорость сухих осадений оказалась в 2–20 раз выше при росе, чем при сухой поверхности пробоотборника. Были также выполнены измерения концентраций химических веществ, содержащихся в атмосфере, и рассчитаны скорости сухих осадений для частиц хлоридов, NO_3 , сульфатов, кальция, магния, натрия, калия, NH_4 и газов HNO_2 , HCl , SO_2 , NH_3 . Установлено, что роса способна увеличивать темпы осаждения кислот на некоторые поверхности. Авторы считают, что роса может быть более кислотна на

местах с более низкими темпами осаждения основных частиц. Все это, в частности, может способствовать интенсификации атмосферной коррозии различных конструкций и строений.

Изучение образцов росы, отобранных в северо-западной части Денвера (США, шт. Колорадо), показало, что на ее химический состав существенное влияние оказывает интенсивность растворения почвенных частиц подстилающей поверхности [74]. Медианное значение рН росной воды составляло 6,4 (что больше медианных значений аналогичного показателя для других гидрометеоров). Самые низкие значения рН (4,4) были характерны для образцов тумана. Концентрации цинка в образцах росы и инея указывают на то, что антропогенные частицы растворяются росой и тающим инеем. Концентрации свинца в образцах тумана показывают, что последний активно захватывает продукты сгорания этилированного бензина. Это указывает на то, что росная вода, во-первых, может использоваться в качестве своеобразного монитора при оценках степени техногенного воздействия, во-вторых, является определенным источником поставки загрязняющих веществ в окружающую среду.

Возможность использования росы как дополнительного источника воды оценена в Далмации и на островах Хорватии в летний сухой сезон (с 1 июля 2003 г. по 31 октября 2006 г.) [56, 57]. Среднегодовое количество осадков, обусловленных росой, изменялось от 9,3 до 20 мм. Во время засушливого сезона ежемесячный кумулятивный выход росной воды может составлять до 38% от объема собранных дождевых осадков. В июле 2003 и 2006 гг. росная вода достигала 120% от общего ежемесячного количества дождевой воды. Установлено, что средние значения рН воды росы находились около 7, электрической проводимости – 180 мкСм/см, что соответствует низкой минерализации. Состав воды росы и дождя (по основным катионам и анионам, включая нитраты и аммонийный азот) отвечает требованиям директивы Всемирной организации здравоохранения для питьевой воды (за исключением Mg^{2+}).

В работе [55] приводятся результаты исследований качества росной и дождевой воды, выполненных в период с 15 января 2002 по 14 января 2003 г. в г. Бордо (Франция) (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав росы и дождевой воды, 12–23 января 2002 г., мг/л [55]

Компонент	Роса	Дождь
рН	5,88 (5,17–6,66)	5,23 (4,9–5,56)
Электропроводность, мкСм/см	29 (19–39)	50 (31–80)
Na^{2+}	2,85 (1,6–4,1)	3,85 (1,7–6,85)
K^{+}	0,25 (0,2–0,3)	0,37 (0,25–0,5)
Ca^{2+}	0,35 (<0,005–0,7)	0,9 (0,5–1,3)
Mg^{2+}	0,35 (0,2–0,5)	0,47 (0,2–0,8)
Cl^{-}	4,8 (2,6–7,2)	5,8 (3–9,5)
SO_4^{2-}	2,5 (2,6–7,2)	4,3 (3–6,5)
NO_3^{-}	0,5 (0,4–0,6)	3,9 (2,9–5,7)
NO_2^{-}	< 0,01	< 0,01
HPO_4^{2-}	< 0,1	< 0,1
Сухой остаток (180 ⁰ С)	10,3 (5,9–14,8)	19,7 (12,4–31,2)
Сульфатный остаток (700 ⁰ С)	12 (6,7–17,2)	20,8 (12,9–33,2)

В ходе исследований были изучены следующие физико-химические характеристики воды росы и дождя: рН, электрическая проводимость, катионы (Na^{+} , K^{+} , Ca^{2+} , Mg^{++} , Zn^{++} , Cu^{++}), анионы (Cl^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-} , NO_2^{-}), жесткость (общая, кальциевая, магниевая, постоянная), сухой остаток. Содержания CO_3^{2-} , HCO_3^{-} и HPO_4^{2-} были ничтожными. Установлено, что концентрации практически всех ионов в росе были ниже, нежели в дождевой воде (исключение составляют лишь NO_2^{-}). Среднее значение рН (5,4) дождевой воды было ниже, чем рН росы (6,3). Состав и уровни содержания главных ионов определяются влияни-

ем Атлантического океана (в пределах 50 км). Средняя концентрация ионов была ниже требований нормативов Всемирной организации здравоохранения для питьевой воды. Лишь в единичных случаях отмечалось превышение указанных нормативов. В целом ионный состав росы приближался к составу маломинерализованных коммерческих бутилированных вод.

В Марокко, в засушливых районах вблизи Мирлефта с 1 мая 2007 по 30 апреля 2008 г. авторами [62] был изучен химический состав росы и дождя, которые рассматриваются в качестве возможных источников воды. В период исследования наблюдалось 178 случаев росы (общая сумма осадков 18,85 мм), 31 случай дождя (48,65 мм) и 7 эпизодов значительных туманов (1,41 мм). Результаты исследований приведены в табл. 3 и 4. Значения рН росы и дождя были нейтральными. Минерализация росы заметно превышала минерализацию дождевых вод, что объясняется влиянием моря. Установлено также, что уровни кальция, калия, сульфатов и нитратов определяются влиянием континентальных факторов, хлоридов, натрия и магния – влиянием моря.

Таблица 3

Физико-химические характеристики росы и дождя, мг/л [62]

Показатель	Роса		Дождь		Роса, г. Бордо *
	среднее	интервал	среднее	интервал	
рН	7,40	6,75–7,93	6,85	6,49–7,17	6,26
Электропроводность, мкСм/см	725,25	38,6–2680	316	14,50–1081	45,1
Ca ²⁺	48,27	16,65–108,18	30,86	7,38–50,61	1,47
Na ⁺	99,27	17,65–287,91	68,76	6,10–188,43	3,6
Mg ²⁺	16,19	4,3–38,09	10,34	1,38–26,75	0,36
K ⁺	9,50	1,81–18,65	5,12	0,71–9,68	0,41
Cl ⁻	255,52	60,84–571,05	147,05	24,79–386,81	5,52
SO ₄ ²⁻	18,34	5,54–54,13	16,85	1,24–47,77	3,75
NO ₃ ⁻	14,90	5,43–28,79	7,73	0–24,47	2,8
Cu ²⁺	0,018	0,001–0,033	0,018	0,002–0,022	0,0027
Pb	0,005	0,004–0,008	0,017	0,004–0,01	-
Zn ²⁺ (без учета февраля-марта)	0,022	0,001–0,147	0,006	0,003–0,01	0,036
Zn ²⁺ (включая февраль-март)	46	0,001–45,8	2,57	0,003–20,6	-

* Испытывает влияние Атлантического океана

Таблица 4

Химический состав росы и дождя различных районов, мг/л [62]

Показатель	Роса, Мирлефт	Дождь, Мирлефт	Роса, Бордо
рН	7,4	6,85	6,26
Электропроводность, мкСм/см	725,25	316	45,1
Ca ²⁺	48,27	32,97	1,47
Na ⁺	99,27	52,4	3,6
Mg ²⁺	16,19	10,81	0,36
K ⁺	9,5	5,25	0,41
Cl ⁻	255,52	157,02	5,52
SO ₄ ²⁻	18,34	12,43	3,75
NO ₃ ⁻	14,9	11,67	2,8
Cu ²⁺	0,018	0,017	0,0027
Pb	0,05	0,006	
Zn ²⁺	0,022	0,006	0,036

Росная вода вблизи Мирфлета характеризовалась заметно более высокой минерализацией, нежели роса других районов мира (табл. 5). Авторы цитируемой статьи считают, что население аридных и семиаридных прибрежных районов юго-западной Африки может использовать росу в качестве дополнительного источника водоснабжения для хозяйственно-питьевых целей.

**Электропроводность и общая минерализация росы разных мест
(обобщение литературных данных) [62]**

Место	Электропроводность, мкСм/см	Общая минерализация, мг/л
Мирлефт, побережье, Марокко	725	560
Тикехау, атолл, Французская Полинезия	580	450
Задар, побережье, Хорватия	204	160
Амман, Иордания, вблизи побережья	129	100
Аяччо, Корсика, Франция	114	88
Бордо, Франция, вблизи побережья	45	35

Японские исследователи [70] установили достаточно интенсивное концентрирование в воде росы, пробы которой были отобраны в г. Йокогама, некоторых летучих органических соединений – хлорированных (дихлорметан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен, тетрахлорэтилен и др.) и моноциклических ароматических (бензол, толуол, ксилоны и др.) углеводородов. Средневзвешенная концентрация растворенного органического углерода в росной воде достигала 9,26 мл/л, среднее значение рН – 5,02. В другой работе японских авторов приводятся результаты изучения распределения органических соединений в росной воде, дождевой воде и в газовой фазе атмосферного воздуха [63]. Пробы атмосферной воды отбирались на территории городка университета Канагава в г. Йокогама в течение 2003 г. (табл. 6). Установлено, что более высокая концентрация общих альдегидов была характерна для росной воды, нежели для воды дождя и тумана, что обусловлено малым количеством росной воды. Формальдегид и ацетальдегид являлись доминантными альдегидами в газовой фазе.

Таблица 6

Средняя концентрация органических соединений в дожде, росе и газовой фазе [63]

Компонент	<i>n</i>	Формальдегид	Ацетальдегид	Гликольальдегид	Глиоксаль	Метилглиоксаль
Дождь, мМ	169	1,22	0,10	0,6	0,46	0,12
Роса, мМ	20	4,44	0,30	0,90	32,3	1,66
Газ, ppb	103	5,46	4,38	-	-	-

Детальное рассмотрение развития систем сбора росы для целей водопользования в семиаридном прибрежном районе северо-западной Индии приведено в статье [75]. Эти системы стали создаваться для улучшения питьевого водоснабжения в данном регионе, особенно для людей, проживающих на побережье, где подземные воды плохого качества, а поверхностные водоисточники очень скудные. Несмотря на то, что количество росной воды невелико (20–30 мм) по сравнению с дождевыми осадками (200–300 мм), роса является важным потенциальным источником водоснабжения. Так, количество случаев (суток) образования ночной росы достигает 103, а количество дождливых дней всего лишь 15–20. В рассматриваемом районе Индии образование росы наблюдается в течение 7 месяцев (с октября по апрель); время дождей приходится на июнь – сентябрь (5 месяцев). Обычно для сбора росы используются различные конденсаторы: конденсатор над крышей, наземные конденсаторы (из полимерной пленки), крыша-конденсатор (металлические крыши зданий) и др. В данном исследовании сбор росы осуществлялся с пластиковой крыши теплицы площадью 142 м². Всего было собрано 1191 л воды за указанный период (с октября по апрель). Это соответствует примерно 10 мм осадков и может считаться незначительным в сравнении с годовой суммой дождевых осадков (300 мм). Однако указанное количество росной воды становится значительным, если учитывать тот факт, что средний уровень потребления воды одним человеком составляет 4 л в день, т. е. 1200 л за сухой период (с октября по май). Максимальные количества осадков (росы), собранные за одну ночь

на искусственных поверхностях, приведены в табл. 7. Прибрежные районы северо-западной Индии дают более существенные количества росы, нежели многие другие регионы. Согласно [59], использование в северо-западной Индии малых конденсаторов позволило собрать 16 мм росной воды. По данным С.М. Берковича и др. (2004), в Иерусалиме за 12 месяцев было собрано 33 мм росной воды, причем в этот период отмечено 176 случаев образования росы с максимальным количеством до 0,5 мм за ночь [75]. В исследованиях автора цитируемой статьи общее количество росной воды, собранной в период с января по ноябрь 2007 г., составило 6545 л или 7,7 мм [75]. Самый большой выход наблюдался ночью 5 февраля 2007 г., когда было собрано 240 л или 0,3 мм воды, что превышает приводимые в литературе данные (табл. 7).

Таблица 7

Максимальные количества росы, собранные за одну ночь на искусственных поверхностях, обобщение литературных данных [75]

Регион	Количество вода, мм
Израиль, Ямайка, Англия (юг), Мюнхен	0,43
Германия (берег балтийского моря)	0,37
Моравия	0,25
Франция, г. Монпелье	0,22
Москва	0,22
Румыния	0,17

Поскольку недалеко от места сбора проб росы располагается небольшая шахта лигнита, то воздух и росная вода были загрязнены пылью. Результаты одного из анализов состава воды приведены в табл. 8. Они свидетельствуют о том, что росная вода вполне пригодна для питья, хотя и несколько кислая. Количество растворенных в ней солей также было выше предельных значений, обусловленных стандартом ISO 10500.

Таблица 8

Состав росной воды из разных мест, мг/л [75]

Параметр	Sayara	Suthari	Panandhro	Satapar	Максимальный допустимый уровень, IS 10500 1993
pH	7,17	6,9	4,74	6,85	6,5–8,5
Электропроводность	520	930	1002	230	–
Цвет	3	2	2	3	5
Мутность	2	1	1	2	5 NTU
Минерализация	340	610	660	155	500
Общая жесткость	96	228	480	95	300
Хлориды	57	161	57	32	250
Сульфаты	30	53	80	17	200
Фториды	1	0,46	0,87	-	1
Общая щелочность	200	200	60	90	200

В Польше выполнена программа, целью которой было изучение химического состава воды росы в разных функционально-географических районах страны и с учетом метеорологических факторов [72]. Образцы росы (росной воды) отбирались в период с августа 2004 по ноябрь 2006 г. на 8 станциях, которые размещались в следующих районах: сельские, прибрежные урбанизированные, континентальные урбанизированные. В отобранных образцах исследовалось распределение главных ионов, а также формальдегида и суммы фенолов (табл. 9). Установлено, что среднее содержание общих неорганических ионов в росной воде изменялось от 0,83 до 3,93 мг-экв/л; максимальное значение составило 10,9 мг-экв/л. Среднее значение в росе на всех станциях было примерно одинаковым (2,46 мг-экв/л); в иное оно составляло 2,86 мг-экв/л. Эти значения были гораздо более высокими в сравнении с содержаниями в других видах атмосферной воды, например, в дождевых

осадках (0,37 мг-экв/л) или в тумане/облаках (1,01 мг-экв/л). Значения pH росной воды колебались от 5,22 до 7,35 для прибрежных урбанизированных станций, от 5,67 до 8,02 для континентальных урбанизированных станций и от 4,16 до 8,76 для образцов росы, собранных в сельском районе. Формальдегид был обнаружен в 97% образцов росы (при концентрациях от 0,010 до 5,40 мг-экв/л). На станциях, расположенных на морском побережье, где значителен вклад ионов натрия и хлоридов, в росной воде доминировали сульфаты. Для всех станций были типичны очень низкие уровни NO_3^- и заметно повышенные концентрации Ca^{2+} (не характерные для воды осадков и тумана). Повышенные в 2 раза (по сравнению с другими районами) концентрации аммонийного азота в сельскохозяйственных районах обусловлены влиянием аграрных источников.

Таблица 9

Средний химический состав росной воды, мг-экв/л [72]

Компонент	Прибрежные урбанизированные (ПУ)			Внутренние урбанизированные (ВУ)		Внутренние сельскохозяйственные (ВС)		
	Гданьск	Гдыня	Сопот	Битов	Краков	Млава	Дземяны	Вроцлав
Электропроводность*	151	151	183	171	337	152	92,0	56,7
pH	6,31	6,52	6,55	6,80	7,12	6,49	7,15	6,63
Na^+	0,34	0,34	0,13	0,15	0,11	0,14	0,11	0,043
NH_4^+	0,25	0,23	0,27	0,33	0,29	0,35	0,26	0,15
K^+	0,15	0,13	0,092	0,077	0,12	0,086	0,052	0,046
Mg^{2+}	0,23	0,21	0,072	0,074	0,29	0,093	0,028	0,031
Ca^{2+}	0,89	0,74	0,75	0,73	1,33	0,68	0,27	0,16
F ⁻	0,018	0,012	0,010	0,016	0,021	0,011	0,036	0,015
Cl^-	0,45	0,55	0,54	0,20	0,23	0,26	0,13	0,067
NO_2^-	0,03	0,035	0,028	0,054	0,052	0,023	0,012	0,014
NO_3^-	0,16	0,12	0,12	0,15	0,12	0,18	0,12	0,062
PO_4^{3-}	0,092	0,10	0,031	0,020	0,049	0,044	0,034	0,019
SO_4^{2-}	0,72	0,48	0,40	0,95	1,37	0,68	0,40	0,25
Сумма фенолов	0,58	0,89	0,22	0,55	0,11	0,16	0,084	0,299

* Здесь и далее в табл. 10, 11 – мкСм/см

Установлено также, что термальная стратификация атмосферы, общая и местная циркуляция воздуха контролируют химический состав росной воды (табл. 10, 11). Так, самые высокие значения минерализации на урбанизированных станциях были связаны с антициклонической погодой, а в сельских местах – с циклонами. Химический состав росной воды на прибрежных урбанизированных станциях в теплый сезон во многом зависел от местной воздушной циркуляции (особенно от суточного бриза), что способствовало увеличению концентрации Na^+ и Cl^- . Авторы считают, что химический состав росы может быть хорошим индикатором уровня загрязнения атмосферы. Учитывая также высокую минерализацию и ежегодный водный эквивалент, оцененный в 50 мм, роса является важным фактором влажного осаждения и источником дополнительной поставки химических веществ на земную поверхность.

Таблица 10

Средний химический состав росной воды в зависимости от типа воздушных масс (А – арктические, Пк – полярные континентальные, Пм – полярные морские), мг-экв/л [72]

Район	Тип масс	pH	Электропроводность	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}
ПУ	А	6,57	171	0,52	0,23	0,16	0,23	0,84	0,62	0,14	0,65
	Пк	6,46	195	0,19	0,27	0,12	0,13	0,81	0,51	0,12	0,48
	Пм	6,49	142	0,28	0,25	0,12	0,18	0,75	0,53	0,13	0,49
ВУ	А	7,05	199	0,19	0,38	0,12	0,14	0,76	0,33	0,23	0,70
	Пк	6,99	257	0,19	0,35	0,10	0,17	1,16	0,26	0,19	1,25
	Пм	6,44	123	0,10	0,31	0,07	0,05	0,42	0,15	0,09	0,59
ВС	Пк	7,00	71,8	0,060	0,20	0,046	0,032	0,238	0,092	0,10	0,30
	Пм	6,64	68,4	0,08	0,19	0,050	0,026	0,17	0,090	0,066	0,31

Средний химический состав росной воды в зависимости от синоптической ситуации, мг-экв/л (АЦ – антициклон, П – переходная, Ц – циклон) [72]

Район	Тип ситуации	pH	Электропроводность	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
ПУ	АЦ	6,75	190	0,30	0,28	0,13	0,19	0,91	0,58	0,15	0,58
	П	6,56	152	0,30	0,19	0,14	0,18	0,81	0,57	0,15	0,53
	Ц	6,17	85,0	0,18	0,26	0,089	0,10	0,34	0,35	0,051	0,26
ВУ	АЦ	6,88	224	0,15	0,35	0,10	0,14	0,97	0,25	0,16	1,08
	П	6,45	158	0,10	0,26	0,072	0,12	0,63	0,18	0,14	0,64
	Ц	6,45	112	0,083	0,29	0,055	0,045	0,38	0,15	0,10	0,53
ВС	АЦ	6,93	66,7	0,061	0,18	0,047	0,030	0,21	0,090	0,087	0,29
	П	6,48	62,7	0,12	0,17	0,052	0,034	0,14	0,067	0,050	0,35
	Ц	6,55	117	0,057	0,30	0,057	0,023	0,23	0,14	0,11	0,37

В заключение отметим, что роса и росообразование с давних пор привлекали внимание человека не только с научной и практической точек зрения. Так, в библейские времена на росу смотрели как на одно из благодеяний, как на эмблему духовных благословений Божиих [4, 11]. Роса – в том или ином контексте – многократно упоминается в Библии. В те времена в Палестине в летнее время только прохладная ночная роса поддерживала жизнь растений, а поскольку здесь ночью температура значительно понижается, то осадок росы весьма обильный. Покрытая растительностью почва, покров шатра и волосы человека, проводшего ночь под открытым небом, кажутся с утра как будто смоченными дождём. («Так и сделалось: на другой день, встав рано, он стал выжимать шерсть и выжал из шерсти росы целую чашу воды» – Суд. 6.38.). Росе приписываются магические и лечебные свойства [5, 37, 38]. Нельзя не вспомнить о таком необычном атмосферном явлении, как нимб, когда при определенном состоянии атмосферы вокруг тени головы человека можно увидеть цветной светящийся круг. Обычно такой нимб образуется из-за отражения света капельками росы на травяном газоне. Нимб, как известно, в христианстве и буддизме является символом святости или божественности. В славянской традиции ритуальные обходы полей в Юрьев день повсеместно включали сбор росы, которую впоследствии использовали, в частности, как лекарственное средство. По сербским верованиям, мёд получается из утренней росы и зари как дар богов, он разлит по цветам и листьям, и его собирают пчёлы. Почиталась священной и роса, о чем свидетельствуют приведенные В.И. Далем выражения: «Росою да через серебро умыться, бела будешь», «Все мы растем под красным солнышком, на Божьей росе», «Без росы и трава не растет» [12]. Роса, собираемая в полночь, использовалась (и используется) в народной медицине как успокаивающее, релаксирующее, противовоспалительное средство. Ею лечили психосоматические нарушения, неврозы, фобии. Утренняя роса применялась для лечения воспалительных заболеваний. С лечебными целями широко практиковалось хождение босиком вечером и утром по росе. Роса, использовавшаяся в лечебных целях, отождествлялась, очевидно, с «живой водой» русских былин и волшебных сказок. Отсюда пословицы: «Майская роса и умершего поднимет», «Одна майская роса коням лучше овса».

В любом случае необходимо дальнейшее изучение физических основ процессов образования росы, ее роли в водном балансе различных экосистем и биологических объектов, ее химического состава в зависимости от физико-географических и техногенных условий, возможного значения для бальнеологии и медицины. Должны быть продолжены работы по оценке росной воды как потенциального источника водоснабжения для питьевых, хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных целей, прежде всего, сухих и пустынных территорий. Особое внимание следует обратить на разработку установок для интенсификации росообразования и сбора искусственной росы. Безусловно, не следует забывать и о культурологических и метафизических аспектах изучения этого удивительного природного явления.

Литература

1. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2010. – 420 с.
2. *Андреев И.Н.* Введение в коррозиологию. – Казань: Изд-во Казанского государственного технологического ун-та, 2004. – 140 с.
3. *Беляков М.В.* Атмосфера. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 71 с.
4. Библейская энциклопедия. Труд и издание архимандрита Никифора. Репринтное издание 1891 г. – М.: ТЕРРА, 1990. – 903 с.
5. *Бобров А.Г.* «Катание по росе» как языческое таинство // Традиционные модели в фольклоре, литературе, искусстве. – СПб.: Изд-во «Европейский дом», 2002, с. 45–59.
6. *Бояринцев Е.Л.* Испарение с суши в условиях крайнего Северо-Востока России // Климат, экология, сельское хозяйство Евразии: Материалы международной научно-практической конференции (г. Иркутск, 28-30 мая 2013 г.) – Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2013, с. 14–19.
7. *Бримблкумб П.* Состав и химия атмосферы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 352 с.
8. *Буссенго Ж.Б.* О количестве аммиака, содержащегося в осадках дождя, снега, росы и тумана // Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936, с. 360–370.
9. *Буссенго Ж.Б.* Исследования по вопросу о количестве азотной кислоты, содержащейся в дождевой воде, в тумане и в росе // Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936, с. 371–377.
10. *Буссенго Ж.Б.* О присутствии аммиака и азотной кислоты в искусственной росе // Избранные произведения по физиологии растений и агрохимии. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1936, с. 378–381.
11. *Васин А.В.* Подобно росе? Образ росы в масоретском тексте Пс. 109(110):3 и его мессианская значимость на основе библейского текста и богослужебной литературы Православной Церкви // Скрижали, 2011, № 1, с. 120–142.
12. *Даль В.И.* Толковый словарь живого великорусского языка. Том 4. – СПб.-М., 1882. – 704 с.
13. *Догановский А.М., Малинин В.Н.* Гидросфера Земли. – СПб.: Гидромтеоиздат, 2004. – 624 с.
14. *Дублянский В.Н., Дублянский Ю.В.* Проблема конденсации в карстоведении и спелеологии // Пещеры. Межвуз. сб. науч. тр. – Пермь: Перм. ун-т, 2001, вып. 27–28, с. 51–72.
15. *Дублянский В.Н., Олиферов А.Н.* Водные ресурсы континентов. – Киев: УМК ВО, 1988. – 46 с.
16. Жуки из пустыни Намиб вдохновили учёных на создание самонаполняющихся бутылок // <http://www.vesti.ru/doc.html?id=969711>.
17. *Жуков Н.Н.* О древних гидротехнических сооружениях в ближайших окрестностях г. Феодосии в связи с вопросом об изучении принципов добычи влаги из атмосферы // Сборник статей по экономике, быту и истории феодосийского района. Выпуск 1. – Феодосия, 1931, с. 14–23.
18. *Зибольдт Ф.И.* Роль подземной росы в водоснабжении г. Феодосии // Почвоведение, 1904, № 4, с. 323–343.
19. *Зибольд Ф.И.* Роль подземной росы в водоснабжении города Феодосии // Труды опытных лесничеств, 1905, № 3, с. 387–412.
20. История «воздушного колодца» в Феодосии // <http://watersite.ru/istoriya-vozdushnogo-kolodca-v-feodosii>.
21. *Климочкин В.В.* К вопросу о роли конденсации в формировании ресурсов грунтовых вод // Вопросы гидрологии криолитозоны. Вып.1. – Якутск: Якутск. книж. изд-во, 1974, с. 158–165.

22. Коваленко И.М. История изучения культуры водопользования Крыма // Записки Общества геоэкологов. – Симферополь, 2001. Вып. 5–6 // <http://msjeserge.narod.ru/leto/kovalenko/histvod.htm>.
23. Копысов С.Г., Росновский И.Н. О роли росы в тепловом и водном балансе экосистем // Измерения, моделирование и информационные системы для изучения окружающей среды. – Томск: Томский ЦНТИ, 2006, с. 112–116.
24. Косарев В.П., Андриющенко Т.Т. Лесная метеорология с основами климатологии. – СПб.: Изд-во «Лань», 2007. – 288 с.
25. Кучин М.И. Подземные воды Обь-Иртышского бассейна (в границах Новосибирской области, Алтайского края и Омской области). – М.-Л.: Гостоптехиздат, 1940. – 306 с.
26. Лагуткин Н. Атмосферное орошение (ирригация) // <http://www.agropenza.ru/news-16.html>.
27. Лагуткин Н.В. Разумное земледелие. – Пенза, 2013. – 116 с.
28. Лукин В.Н. Влажность почвы под насаждениями защитных полос на обеспеченной богаре предгорий Центрального Таджикистана // Тр. Ин-та почвоведения АН Таджикской ССР, 1960, т. IX, сб. В.
29. Лукин В.Н. Каменная мульча в культурах грецкого ореха // Информационный листок Таджикского ИНТИИП, 1983, № 94.
30. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
31. Наше пчеловодство // <http://www.nashe-pchelovodstvo.ru>.
32. Оболенский В.Н. Основы метеорологии. – М.-Л.: Сельколхозгиз, 1931. – 327 с.
33. Овсинский И.Е. Новая система земледелия. – Киев, 1899. – 175 с.
34. Овсинский И.Е. Новая система земледелия. – Пенза, 2008. – 271 с.
35. Паустовский К.Г. Черное море. – М.-Л.: Детгиз, 1936. – 216 с.
36. Петрова Э.Б. Античная Феодосия: История и культура // http://old-museum.org/excavations/excavations_03_15.htm.
37. Платен М. Новый способ лечения: Лечение целебными силами природы: Пер. с нем. Т. 1. – СПб.: Книгоиздательское т-во «Просвещение», 1902. – 647 с.
38. Платен М. Лечение целебными силами природы. Часть первая. Учение о здоровье. – Челябинск: Объединение «Человек», фирма «Вектор», 1991. – 448 с.
39. Позаченюк Е. А., Лукьянова М. Ю. Водохозяйственный комплекс территории Большая Феодосия как основа устойчивого развития региона // Геополитика и экогеодинамика регионов, 2013, т. 9, вып. 2, с.148–159.
40. Политехнический словарь. – М.: Сов. энциклопедия, 1989. – 656 с.
41. Приблуда В.Д., Коджаспиров А.А., Дублянский В.Н. Баланс подземных вод юго-западной части Горного Крыма // Геологический журнал, 1979, т. 39, № 2, с. 38–46.
42. Прохоров А.А. Активная конденсация воды растениями // Принципы экологии. 2013, т. 2, № 3, с. 72–76.
43. Репников Н. И., Шмит Ф. И. О технике водоснабжения средневековых городов Крыма // Сообщения Государственной Академии истории материальной культуры (ГАИМК), 1932, № 9–10, с. 46–50.
44. Роса с листьев, подземная роса // <http://resursyzemli.ru/stixii/rosa-s-listev-podzemnaya-rosa.html>.
45. Синадский Ю.В. Сосна. Ее вредители и болезни. – М.: Наука, 1983. – 344 с.
46. Хромов С.П. Метеорология и климатология. – М.: Изд-во Моск. Ун-та: Наука, 2006. – 582 с.
47. Циолковский К.Э. Вода в сухих и безоблачных пустынях // Социалистическая реконструкция и наука, 1933, вып. 8, с. 82–87.
48. Циолковский К.Э. Освоение жарких пустынь // Вестник знания, 1934, № 10, с. 661–666.
49. Шеин Е.В. Курс физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с.

50. *Шестаков Ф.В.* Конденсация водяных паров в почвогрунтах и приземном слое (Библиографический указатель 1877–1987 гг.). – Алма-Ата: Наука КазССР, 1980. – 76 с.
51. *Шестаков Ф.В.* Родники жизни. – Алма-Ата: Наука КазССР 1985. – 111 с.
52. *Шестаков Ф.В.* Грядущая глобальная водно-экологическая катастрофа и меры ее предотвращения // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук, 2014, № 1, с. 69–77.
53. *Якобсон А.Л.* Крым в средние века. – М.: Наука, 1973. – 173 с.
54. *Янин Е.П.* Коррозия металлов и металлических конструкций как источник загрязнения окружающей среды // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2007, № 6, с. 46–92.
55. *Beysens D., Ohayon C., Muselli M., Clus O.* Chemical and biological characteristics of dew and rain water in an urban coastal area (Bordeaux, France) // Atmospheric Environment, 2006, v. 40, p. 3710–3723.
56. *Beysens D., Lekouch I., Mileta M. et al.* Dew and Rain Water Collection in South Croatia // International Journal of Civil and Environmental Engineering, 2009, v. 1, № 2, p. 64–70.
57. *Beysens D., Lekouch I., Muselli M., Mileta M.* Physical and chemical properties of dew and rain water in the Dalmatian coast, Croatia // 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew. Münster, Germany, 25–30 July 2010. FOGDEW2010-24.
58. *Серафимов В.Н.* Гидрологична роля на иглолистните гори в няком райони на Рила. – София: Българ. Акад. на наук, 1974. – 186 с.
59. *Clus O., Sharan G., Singh S. et al.* Simulating and testing a very large dew and rain harvester in Panandhro (NW India) // Proceedings of the 4th Conference on Fog, Fog Collection and Dew, La Serena, Chile. 2007, p. 311–312.
60. *Crawford R.M. M.* Plants at the Margin: Ecological Limits and Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – 478 p.
61. International Organization For Dew Utilization // <http://www.opur.fr>.
62. *Lekouch I., Muselli M., Kabbachi B. et al.* Dew, fog, and rain as supplementary sources of water in south-western Morocco // Energy, 2011, v. 36, № , p. 2257–2265.
63. *Matsumoto K., Kawai S., Igawa M.* Dominant factors controlling concentrations of aldehydes in rain, fog, dew water, and in the gas phase // Atmospheric Environment, 2005, v. 39, p. 7321–7329.
64. *Möller D.* On the History of the Scientific Exploration of Fog, Dew, Rain and Other Atmospheric Water // DIE ERDE, 2008, v. 139, № 1–2, p. 11–44.
65. *Mulawa P.A., Cadle S.H., Lipari F. et al.* Urban dew: its composition and influence on dry deposition rates // Atmos. Environ., 1986, 20, № 7, p. 1389–1396.
66. *Muselli M., Beysens D., Marcillat J. et al.* Dew water collector for potable water in Ajaccio (Corsica Island France) // Atmos. Res., 2002, v. 64, p. 297–312 .
67. *Nikolayev V.S., Beysens D., Gioda A. et al.* Water recovery from dew // Journal of Hydrology, 1996, v. 182, p. 19–35.
68. *Nilsson T.* Initial experiments on dew collection in Sweden and Tanzania // Sol. Energy Mat. Sol. Cells, 1996, v. 40, p. 23–32.
69. *Nilsson T., Varghas W.E., Niklasson G.A., Granqvist C.G.* Condensation of water by radiative cooling // Renewable Energy, 1994, v. 5 (f), p. 310–317.
70. *Okochi H., Kataniwa M., Sugimoto D., Igawa M.* Enhanced dissolution of volatile organic compounds into urban dew water collected in Yokohama, Japan // Atmospheric Environment, 2005, v. 39, p. 6027–6036.
71. *Parker A.R., Lawrence C.R.* Water capture by a desert beetle // Nature, 2001, v. 414 (1 November 2001), p. 33–34.
72. *Polkowska Ż., Błaś M., Klimaszewska K. et al.* Chemical Characterization of Dew Water Collected in Different Geographic Regions of Poland // Sensors, 2008, № 8, p. 4006–4032.
73. *Raman C.R.V., Venkatraman S., Krishnamurthy V.* Dew Over India and Its Contribution to Winter-Crop Water Balance // Agricultural Meteorology, 1973, v. 11, p. 17–35.

74. *Schroder LeRoy J., Willoughby T.C., See R.B., Malo B.* The chemical composition of precipitation, dew and frost, and fog in Denver, Colorado // IAHS Publ., 1989, № 179, p. 83–90.
75. *Sharan G.* Harvesting Dew with Radiation Cooled Condensers to Supplement Drinking Water Supply in Semi-arid Coastal Northwest India // International Journal for Service Learning in Engineering, 2011, v. 6, № 1, p. 130–150.
76. *Sharan G., Prakash H.* Dew condensation on greenhouse roof at Kothara (Kutch). Research Note // Journal of Agriculture Engineering, 2003, v.40 (4), October-December, p. 75–76.
77. *Subramaniam A.R., Kesava Rao A.V.R.* Dew fall in sand dune areas of India, International Journal of Biometeorology, 1983, v. 27, № 3, September.
78. *Zangvil A.* Six Years of Dew Observations in the Negev Desert, Israel. Journal of Arid Environment, 1996, v. 32, p. 361–371.