**Судницын И.И.**

**ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЧВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИЗНИ КОСМОНАВТОВ**

**НА МАРСЕ**

Для интенсификации изучения Марса необходимо присутствие на нем исследователей. Для их питания необходимо выращивать ксеротолерантные растения. Их рост и плодоношение возможны только при влажности (W) марсианских грунтов, превышающей критический уровень, соответствующий равновесной относительной влажности воздуха (ОВ), равной 0.99 (*W*0.99). Для определения W0.99 грунта необходимо провести двукратное одновременное измерение его W, ОВ и температуры, что позволяет сделать находящаяся на Марсе измерительная аппаратура. Результаты измерений рассчитываются при помощи строго теоретически выведенного и экспериментально верифицированного математического выражения.

Книга предназначена для научных работников и преподавателей, работающих в области космонавтикт, физики и технологии почв.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления»).

*Ключевые слова*: ксеротолерантные растения, равновесная относительная влажность воздуха, линейная зависимость, гранулометрический состав почв.

ВВЕДЕНИЕ

18 февраля 2021 г. аппарат НАСА "Персеверанс" начал поиск на Марсе живых существ (или, по крайней мере, следов их жизнедеятельности). Этим исследованиям уделяется большое внимание (США уже затратили на них более 25 млрд. долларов). Разрабатываются планы в будущем организовать на Марсе постоянную научно-исследовательскую станцию с участием исследователей. Их необходимо обеспечить продовольствием. Поскольку доставка продовольствия с Земли - слишком дорогое мероприятие, придется организовать производство продовольствия на месте, выращивая там растения. Это возможно, так как солнечного света там достаточно, температура в некоторых областях Марса периодически поднимается до 27°C, атмосфера содержит углекислый газ и кислород (хотя и в небольшой концентрации), есть и некоторое количество воды (имеются косвенные признаки наличия льда на полюсах Марса) [[18, 19, 21]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B0#cite_note-21). Все это создает возможность оборудовать оранжереи с подогревом в темное время и с замкнутым оборотом воды. Однако очень небольшое количество воды на Марсе делает очень дорогой процедуру поддержания необходимого уровня увлажнения грунтов. Поэтому придется вынужденно использовать только самые ксеротолерантные (то есть засухоустойчивые) растения и поддерживать влажность грунтов на минимальном допустимом («критическом») уровне. Исследования показали, что для фасоли (продуцента белков), подсолнечника (продуцента жиров), проса и житняка (продуцентов углеводов) и ряда других ксеротолерантных организмов таким «критическим» уровнем увлажнения грунтов является их влажность при полном давлении почвенной влаги, равном -14 атм [[11, 13, 20, 25]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B0#cite_note-21). Поэтому необходимо узнать, какой будет влажность марсианских грунтов при этом давлении влаги. Этому давлению влаги в термодинамически равновесных условиях соответствует атмосфера, насыщенная парами воды до 0.99 (то есть до 99%) [[1, 11]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B0#cite_note-21). Поскольку, судя по имеющимся данным, влажность воздуха Марса при температуре выше 00С не может превышать нескольких процентов, определение критической влажности грунтов Марса in situ невозможно. Существуют методы, позволяющие в лабораторных условиях создать 99%-ную относительную влажность воздуха и измерить соответствующую равновесную влажность грунтов, но для этого необходимы специальные экспериментальные устройства (обеспечивающие экстремально высокую термостатичность), которые невозможно создать в условиях Марса [[1, 8, 9, 10, 12]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%B0#cite_note-21).

Таким образом, прямое измерение критической влажности грунтов в условиях Марса невозможно, однако возможно косвенное ее определение. Так, если существует единая закономерная зависимость между влажностью земных почв и грунтов (различающихся по химическому, минералогическому и гранулометрическому составу) и относительной влажностью воздуха, то естественно предположить, что этой закономерной зависимости подчиняются и марсианские грунты, тем более что они близки по химическому и минералогическому составу к земным почвам и грунтам. Так, марсианские грунты (как и земные почвы и грунты) содержат Ca, Mg, Na, S, Cl и минералы SiO2, Al2O3, полевой шпат, оливин, пироксены, а также вулканические туфы [4, 18, 19]. Что касается гранулометрического состава, то марсианские грунты (как и земные почвы и грунты) содержат много пылеватых частиц (размером менее 0.05 мм), о чем свидетельствуют периодически возникающие на Марсе обширные пылевые бури. Поэтому результаты исследования закономерных связей между влажностью земных почв и термодинамически равновесной относительной упругостью паров воды в воздухе (подобные исследования проводятся уже более 100 лет [6, 7, 11, 16, 22, 23]) могут быть использованы и для расчета влажности грунтов Марса, необходимой для выращивания ксеротолерантных растений в оранжереях.

Таким образом, для того, чтобы определить необходимый («критический») уровень влажности марсианских грунтов (соответствующий полному давлению влаги, равному -14 атм), необходимо в условиях Земли найти строго теоретически обоснованную и экспериментально верифицированную закономерную зависимость между влажностью различных почв (и грунтов) и относительной влажностью воздуха (в широком ее диапазоне, например, от 0,034 до 0.980), а затем, используя эту зависимость, по результатам сопряженных измерений на Марсе влажности грунтов (хотя и очень малой) и относительной влажности воздуха (хотя и очень низкой) рассчитать, какой должна быть равновесная влажность грунтов при полном давлении влаги, равном -14 атм в оранжереях на Марсе.

Что касается соотношений между значениями р/р0 и влажности грунтов и почв, то известны многочисленные попытки формализовать полученные данные в виде степенных математических уравнений, например [1, 7, 14, 22]:

*W = a(p/p0)6 + b(p/p0)3 + c(p/p0) + d*, (1)

где *W* – влажность почв; *р/p0* - относительная упругость водяного пара; *a, b, c, d,*– эмпирически определяемые коэффициенты.

Принципиальным недостаткам таких уравнений является то обстоятельство, что они не являются результатом строгого теоретического вывода. Поэтому, в частности, при уменьшении значений *W* до значений, близких к нулю (что в условиях Марса вполне вероятно), *p/p0* и *С/С0* также будут (в соответствии с этими уравнениями) стремиться к нулю, а это означает, что потенциал влаги будет стремиться к -∞. Это в принципе несовместимо с существующими представлениями об энергии межмолекулярных взаимодействий воды и твердой фазы почвы (имеющей, хотя и большую, но не **бесконечно большую** величину) [4, 11, 12].

При *p/p0* = 1 *W* = *d*, что также несовместимо с этими представлениями, так как энергия межмолекулярных взаимодействий молекул воды и твердой фазы почвы, хотя и ослабевает с увеличением расстояния между ними, однако предела в принципе не имеет.

Поэтому в данной статье будет предпринята попытка строго теоретически вывести зависимость между влажностью (*W*) почв (и грунтов) и относительной влажностью воздуха и затем экспериментально ее верифицировать.

**Глава 1.**

**Теория**

Искомая зависимость влажности почв от относительной влажности воздуха и температуры должна основываться на основных физических законах и фундаментальных свойствах всех гидрофильных поверхностей. Как известно, если электрически заряженная поверхность твердой фазы покрыта слоем воды, то в ней формируется диффузный слой ионов, притягивающихся к этой поверхности. Концентрация катионов (Cz) на различных расстояниях (z) от отрицательно заряженной поверхности твердой фазы описывается уравнением Больцмана, которое является одним из важнейших достижений теоретической физики [2, 5, 15, 17]:

*Cz = C0*∙е-*Fψ*/R*T*, (2)

где C0 — концентрация ионов около электрически заряженной поверхности твердой фазы, ψ — потенциальная энергия катионов на расстоянии z от этой поверхности, F — заряд ионов, R — газовая постоянная, Т — абсолютная температура.

dψ/dz = 2*πη/D =*  b, (3)

где D — диэлектрическая постоянная воды, *η* — величина заряда на поверхности твердой фазы. Следовательно

ψ = ψ0 *+* bz, (4)

но, поскольку *ψ0* = 0,

*ψ* = b*z*. (5)

Логарифмируя уравнение (2) и подставляя в него значение ψ (5), получаем

ln Cz = ln C0 - Fbz/RТ (6)

Далее, учитывая, что величина z пропорциональна влажности почвы (W) и что осмотическое давление раствора (Poc) связано с концентрацией растворенных веществ (С) зависимостью Poc = RTC, можем написать:

ln (Poc/RT) = ln C0 - (Fb/RТ) aW (7)

или

ln (*Poc*) = (ln C0 + ln RT) - (abF/RТ)W = *A* **-** BW, (8)

где a = z/W; A = ln C0 + ln RT; B = abF/RТ.

Поскольку *Poc* ≈ k*Т∙*lg(*p/p0*), уравнение (8) можно трансформировать и получить [1, 11, 24]:

lg[-lg*(p/p0)*] *= G –* lg*T – DW*, (9)

где *G* и *D* – эмпирически определяемые коэффициенты, *T* – абсолютная температура.

Эта экспоненциальная зависимость лишена недостатков, свойственных зависимости (1), поскольку в соответствии с зависимостью (9) *p/p0*> 0 даже при *W* = 0, и, следовательно, даже при *W* = 0 влага удерживается около поверхности твердой фазы почвы с энергией, хотя и очень большой (потенциал почвенной влаги может снижаться до -1000 Дж/г воды), но не **бесконечно** большой (что в принципе несовместимо с существующими представлениями об энергии межмолекулярного взаимодействия воды и твердой фазы почвы). При *p/p0*= 1 влажность почвы, напротив, может быть теоретически бесконечной.

Таким образом, эта зависимость (являющаяся одним из важнейших достижений теоретической гидрофизики почв) действительна для любых значений относительной влажности воздуха [11, 12, 24].

Эмпирически существование экспоненциальной зависимости между влажностью и полным давлением влаги в различных почвах обнаруживали многие исследователи [1, 4, 12], но теоретически существование этой зависимости впервые предсказали Б.В. Дерягин и Л.Д. Ландау [2].

Глава 2.

Методы и объекты

Для экспериментальной верификации этой зависимости были использованы результаты прецизионных исследований, проведенных С.И. Долговым с сотрудниками [3] и Куроном [6] (табл. 1 – 3). Исследовались почвы: дерново-подзолистая среднесуглинистая, горизонт А2, с глубины 15-30 см (Московская обл.); чернозем типичный тяжелосуглинистый, горизонт А (0-20 см) и горизонт С (150-200 см) (Курский заповедник); темно-каштановая суглинистая, горизонт А (0-20 см) (Кулунда); серозем типичный суглинистый, горизонт А (0-20 см); краснозем тяжелосуглинистый, горизонт С (70-100 см) (Анасеули); аллювиальная легкоглинистая кислая, горизонт С (70-100 см) (Вьетнам), а также суглинистая почва Вегнерсау и ее различные гранулометрические фракции [6 ].

Для определений 24 пробы каждой почвы (массой по 10 г) были помещены в стеклянные бюксы. Затем для глубокого высушивания почвы одну партию бюксов (12 штук) экспонировали в эксикаторах с фосфорным ангидридом, а другую партию (12 бюксов) увлажняли до полевой влагоемкости. После этого по два бюкса из каждой партии помещаливгерметически закрытые сосуды с относительной влажностью воздуха20, 44, 63, 75, 86 и 98% (соответствующей потенциалам влаги -229, -117, - 63.1, -38, -22.4 и -3.1 Дж/г воды) и каждые две недели определяли их массу с точностью до 1 мг. Соответственно в первой партии бюксов происходил процесс сорбции пара сухой почвой, а во второй – десорбция влаги из влажной почвы.

Во избежание конденсации влаги на поверхности почвы, происходящей при резких перепадах температуры, эксикаторы закрывали ватными чехлами и устанавливали в помещении с постоянной температурой. Для достижения равновесия с паром образцы почвы выдерживали в эксикаторах от 2 месяцев при низкой относительной влажности воздуха до 8 месяцев – при высокой его влажности. Равновесие считали достигнутым, когда в течение двух недель влажность почвы изменялась менее, чем на 0.01% от массы почвы, высушенной при 105оС [3].

Статистические расчеты проведены при помощи компьютерной статистической программы STATISTIKA Release 7.

**Глава 3**

**РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Для всех почв отмечено закономерное увеличение их влажности при увеличении относительной влажности воздуха (ПРИЛОЖЕНИЯ 1 – 8). Так, при увеличении относительной влажности воздуха от 0.2 до 0.98 влажность дерново-подзолистой почвы увеличилась от 0.69% от массы почвы, высушенной при 105оС, до 2.13% – при десорбции и от 0.61% до 2.03% – при сорбции, влажность темно-каштановой соответственно от 1.69% до 5.53% (от 1.53% до 5.39%), серозема –от 1.37% до 5.80% (от 1.24% до 5.53%), субтропического подзола – от 1.81% до 8.90% (от 1.61% до 8.80%), чернозема на глубине 150 см – от 2.62% до 9.89% (от 2.42% до 9.62%), чернозема на глубине 20 см – от 3.71% до 12.74% (от 3.13% до 11.76%), краснозема – от 3.14% до 14.00% (от 2.99% до 12.06%) и почвы Вегнерсау (сорбция) – от 0.88% до 7.61%.

Были исследованы и отдельные гранулометрические фракции почвы Вегнерсау (˂2 мкм, 2-6 мкм, 6-20 мкм и >20 мкм). Их влажность увеличивалась соответственно от 2.83% до 20.62%, от 2.18% до 16.52%, от 1.26% до 9.82% и от 0.15% до 2.05% [3].

На основании полученных данных с помощью компьютерной программы STATISTICA Release 7были определены зависимости между p/p0, lg(p/p0) и lg[-lg(p/p0)] и влажностью почв (W,%) (ПРИЛОЖЕНИЯ 1 – 8).

Коэффициенты корреляции между влажностью почв и p/p0 для разных почв варьировали от 0.8491 до 0.9865, между влажностью почв и lg(p/p0) – от 0.7250 до 0.9174 и между влажностью почв и lg[-lg(p/p0)] – от -0.9932 до -0.9999. Таким образом, для всех исследованных почв зависимости между влажностью почв и lg[-lg(p/p0)] оказались линейными:

*W* = G - lg*T* - D∙lg[-lg(*р/р0*)]. (10)

Коэффициенты корреляции между значениями lg[-lg(*p/p0*)] и *W* при постоянной температуре были равны: для дерново-подзолистой почвы – -0.9996 при десорбции и -0.9978 – при сорбции, для темно-каштановой соответственно -0.9956 и -0.9986, для серозема -0.9965 и -0.9941, для субтропического подзола -0.9947 и -0.9882, для чернозема на глубине 150 см -0.9996 и -0.9987, для чернозема на глубине 20 см -0.9999 и -0.9993, для краснозема -0.9932 и -0.9952, для почвы Вегнерсау -0.9999 и для гранулометрических фракций этой почвы соответственно -0.9997, -0.9995, -0.9979 и -0.9998.

Для всех коэффициентов корреляции уровень их значимости (ɑ) меньше 0.05 (соответственно вероятность равна 0.95) (ПРИЛОЖЕНИЯ 1 – 8).

***Таким образом, уравнение (10) отображает соотношение между относительной влажностью воздуха и влажностью почв (при постоянной температуре) со столь высокой достоверностью, что можно считать его функциональной зависимостью или даже******одним* *из основных*** **Законов Природы**.

Коэффициенты G и D оказались неодинаковыми для разных почв. Меньше всего их величина была для дерново-подзолистой почвы: при десорбции G = 3.045 и D = 0.766, при сорбции G = 2.920 и D = 0.760). Для темно-каштановой почвы эти коэффициенты были равны соответственно 3.960, 2.033 и 3.654, 2.070; для серозема – 3.275, 2.383 и 3.135, 2.303; для субтропического подзола – 3.305, 2.965 и 3.820, 3.854; для чернозема на глубине 150 см – 4.517, 4.102 и 3.836, 3.860; для чернозема на глубине 20 см –5.435, 4.761 и 4.837, 4.611; для краснозема – 4.536, 5.980 и 4.187, 5.184; для почвы Вегнерсау – 3.967, 3.884 и для гранулометрических фракций этой почвы соответственно 6.726, 10.310; 6.127, 8.292; 4.721, 5.022; 2.895, 1.024.

Для десорбции всех исследованных почв обнаружена тесная корреляция между коэффициентами уравнения (10):

D = 2 G - 4.2 (r = 0.92; ɑ ˂ 0.05). (11)

Это дает возможность получить достаточно точные значения коэффициентов G и D, сделав всего лишь два определения влажности грунта при разных значениях температуры и относительной влажности воздуха. При этом образуется система из двух уравнений с двумя неизвестными, которая решается при помощи стандартной математической процедуры.

По уравнению (10) были рассчитаны значения влажности почв и грунтов (*W*0.99), соответствующие *p/p0*= 0.99 и *Т* = 2930К. Они оказались равны: для дерново-подзолистой почвы – 4.85%, серозема – 8.90, аллювиальной почвы – 12.32, краснозема – 18.65, чернозема с глубины 20 см – 16.67 и с глубины 150 см – 13.57, каштановой почвы – 8.76%. (ПРИЛОЖЕНИЕ 1 – 7).

Что касается фракций разного размера, то «критическая» влажность для частиц размером меньше 2 мкм равна 31.06%, для частиц размером 2 – 6 мкм – 25.70%, 6 – 20 мкм – 16.57%, больше 20 мкм – 5.31% (для всей почвы – 13.13%).

Для различных гранулометрических фракций обнаружена еще более тесная корреляция между коэффициентами D и G:

G = 2.4 D – 6.1 (r = 0.998; ɑ ˂ 0.05). (12)

Кроме того, существует очень тесная корреляция между коэффициентами D и G и размером частиц (d, мкм):

D = 6.64 – 0.13 d (r = 0.993; ɑ ˂ 0.05), (13)

G = 9.83 – 0.31 d (r = 0.984; ɑ ˂ 0.05). (14)

(Для диапазонов d были приняты следующие средние значения: для диапазона ˂ 2 мкм – 1 мкм; для диапазона 2 – 6 мкм – 4 мкм; для диапазона 6 – 20 мкм – 13 мкм и для диапазона >20 мкм – 30 мкм).

Заменив в уравнении (1) коэффициенты D и G соответствующими значениями, получим:

*W* = 6.64 - 9.83 lg[-lg(*р/р0*)] - {0.13 - 0.04 lg[-lg(*р/р0*)]} d - lg*T.* (15)

По этому уравнению можно рассчитать значение влажности частиц различного размера почвы или грунта) при различных значениях температуры и относительной влажности воздуха.

Существование обратной зависимости между значениями влажности и размера частиц объясняется тем, что с уменьшением размера частиц увеличивается их удельная поверхность (м2/г почвы), а значит и площадь водных пленок, покрывающих поверхность твердой фазы почвы. Замечательным является то обстоятельство, что эта зависимость не только обратная, но даже – линейная.

Таким образом, если предложенный в данной статье метод оценки влажности грунтов будет использован для выращивания ксеротолерантных растений в оранжереях на Марсе, то возникнет возможность создать на этой планете постоянно действующую научно-исследовательскую станцию.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для интенсификации изучения Марса необходимо присутствие на нем исследователей. Для их питания необходимо выращивать ксеротолерантные растения. Их рост и плодоношение возможны только при влажности (W) марсианских грунтов, превышающей критический уровень, соответствующий равновесной относительной влажности воздуха (ОВ), равной 0.99 (*W*0.99). Для определения W0.99 грунта необходимо провести одновременное измерение его W, ОВ и температуры, что позволяет сделать находящаяся на Марсе измерительная аппаратура. Результаты измерений рассчитываются при помощи строго теоретически выведенного и экспериментально верифицированного математического выражения. Теоретические исследования и анализ прецизионных экспериментальных данных выявили для основных генетических почв России и сопредельных стран (а также для их различных гранулометрических фракций) существование линейной зависимости между двойным логарифмом относительной влажности воздуха (*p/p0*) и влажностью почв (*W*):

lg[-lg(*p/p0*)] = G *-* lg*T -* D*W*,

где G и D – эмпирически определяемые коэффициенты, а *T* – абсолютная температура (*r* = -0.999 при вероятности 0.95).

Значения коэффициентов G и D увеличиваются при утяжелении гранулометрического состава почв и увеличении содержания в них гумуса. Между ними обнаружена линейная зависимость

D = 2G- 4.2 (*r* = -0.92 при вероятности 0.95).

Их значения можно определить, измерив влажность почвы (или грунта Марса) лишь при двух значениях *p/p0* и *T*, что возможно сделать в условиях Марса при помощи находящихся там измерительных устройств. Расчеты следует производить по формуле:

*W* = 6.64 - 9.83 lg[-lg(*р/р0*)] - {0.13 - 0.04 lg[-lg(*р/р0*)]} d - lg*T.*

Таким образом, предложенная методика дает возможность определить влажность грунта в оранжереях на Марсе, при которой могут успешно развиваться ксеротолерантные растения (продуценты углеводов, жиров и белка). Это позволит создать на Марсе постоянно действующие станции с участием исследователей-космонавтов.

Работа выполнена по государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ «Физические основы экологических функций почв: технологии, мониторинга, прогноза и управления».

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Глобус А.М.* Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л.: Гидрометеоиздат. 1987. 427 с.

2. *Дерягин Б.В., Ландау Л.Д.* Теория устойчивости сильно заряженных золей и слипания сильно заряженных частиц в растворах электролитов // ЖЭТФ. 1945. Т. 15. Вып. 11. С. 660 – 672.

3. *Долгов С.И., Житкова А.А., Виноградова Г.Б.* Гидросорбционный гистерезис почвы (Доклады к VIII Международному конгрессу почвоведов. Вып. «Физика, химия, биология и минералогия почв»). М.: Наука. 1964.

4. *Злочевская Р.И., Ильинская Г.Г., Куприна Г.А., Осипов В.И., Скоблинская Н.Н., Чеховских М.М.* Особенности строения, состава и физико-химических свойств глин // Связанная вода в дисперсных системах. М.: Изд-во моск. ун-та. 1972.

5. Нерпин С.В., Чудновский А.Ф. Физика почвы. М.: Наука. 1967. 584 с.

6. *Роде А.А.* Основы учения о почвенной влаге, т. I. Л.: Гидрометиздат. 1965. 663 с.

7. *Смагин А.В.* Молекулярные межфазные взаимодействия газов и паров в почвах. М.: ЮСТИЦИНФОРМ.2020. 300 с.

8. *Смагин А.В.* К термодинамической теории водоудерживающей способности и дисперсности почв // Почвоведение. 2018. № 7. C. 836–851.

9. *Смагин А.В.* Экспериментальная оценка энергетических показателей молекулярных взаимодействий в почвах // Коллоидн. журн. 2008. Т. 70. №4. С. 515–519.

10. *Смагин А.В., Смирнов Г.В.* Использование газохроматографического метода для определения изотерм сорбции паров воды почвой // Почвоведение. 1991. №9. С. 155 – 158.

11. *Судницын И.И.* Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М.: Изд-во моск. ун-та. 1979. 253 с.

12. *Судницын И.И*. Новые методы оценки водно-физических свойств почв и влагообеспеченности леса. М.: Наука. 1966. 93 с.

13. *Судницын И.И., Степанов А.Л.* Почва – вода – растения – микроорганизмы. Palmarium Academic Publishing. Saarbrucken. 2014. 229 с.

14. Теории и методы физики почв. Тула: Гриф и К. 2007. 616 с.

15. *Чайлдс Э.* Физические основы гидрологии почв. Л.: Гидрометеоиздат. 1973. 305 с.

16. *Arthur E., Tuller M., Moldrup P., de Jonge L.W.* Evaluation of theoretical and empirical water vapor sorption isotherm models for soils // Water Resources Research. 2016. Vol. 52. P. 190–205.

## 17. Boltzmann L.  Studien über das Gleichgewicht der lebendigen Kraft zwischen bewegten materiellen Punkten [Studies on the balance of living force between moving material points] // Wiener Berichte. Vol. 58. P. 517 – 560.

18. *Curr M.* The surface of Mars. Cambridge Univ. Press. 2006.

19. *Hartmann W*. Traveler`s Guide to Mars. The Mysterious Landscapes of the Red Planet. N.-Y.: Workman. 2003.

20. [*Kurapova A.I.*](https://istina.msu.ru/workers/2805438/)*,*[*Zenova G.M.*](https://istina.msu.ru/workers/502245/)*,*[*Sudnitsyn I.I.*](https://istina.msu.ru/workers/3074223/)*,*[*Kizilova A.K.*](https://istina.msu.ru/workers/502568/)*,*[*Manucharova N.A.*](https://istina.msu.ru/workers/502296/)*,*[*Norovsuren Z.*](https://istina.msu.ru/workers/502570/)*,*[*Zvyagintsev D.G.*](https://istina.msu.ru/workers/490048/) [Thermotolerant and Thermophilic Actinomycetes from Soils of Mongolia Desert Steppe Zone](https://istina.msu.ru/publications/article/721105/) // [Microbiology](https://istina.msu.ru/journals/79337/). 2012. Vol. 81. No 1. P. 98-108.

21. *Owen T., Biemann K.* Composition of the Atmosphere at the Surface of Mars: Detection of Argon-36 and Preliminary Analysis // Science. 1976. Vol. 193. P. 801.

22. *Smagin A.V.* Physically Based Mathematical Models of the Water Vapor Sorption by Soils // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44. No. 6. Р. 659–669.

23. *Smagin A.V.* Ionic-electrostatic model of the wedge pressure and specific surface area of colloidal systems // J. of Engineering Physics and Thermophysics. 2019. Vol. 92. No. 3. P. 744 – 755.

24. [*Sudnitsyn I.I.*](https://istina.msu.ru/workers/3074223/)*,*[*Smagin A.V.*](https://istina.msu.ru/workers/521221/)*,*[*Shvarov A.P.*](https://istina.msu.ru/workers/2216952/) [The theory of Maxwell –Boltzmann – Helmholtz – Gouy about the double electric layer in disperse systems and its application to soil science (on the 100th anniversary of the paper published by Gouy)](https://istina.msu.ru/publications/article/3132093/) // [Eurasian Soil Science](https://istina.msu.ru/journals/62475/). 2012. Vol. 45. No 4. P. 452-457.

25. [*Zvyagintsev D.G.*](https://istina.msu.ru/workers/490048/)*,*[*Zenova G.M.*](https://istina.msu.ru/workers/502245/)*,*[*Sudnitsyn I.I.*](https://istina.msu.ru/workers/3074223/)*,*[*Gracheva T.A.*](https://istina.msu.ru/workers/721155/)*,* [*Lapygina E.E.*](https://istina.msu.ru/workers/8709413/)*,*[*Napolskaya K.R.*](https://istina.msu.ru/workers/721157/)*,*[*Sudnitsyna A.E.*](https://istina.msu.ru/workers/721158/) [Development of Actinomycetes in Brown Semidesert Soil under Low Water Pressure](https://istina.msu.ru/publications/article/721188/) // [Eurasian Soil Science](https://istina.msu.ru/journals/62475/). 2012. Vol. 45. No 7. P. 717-723.

**ПРИЛОЖЕНИЕ**

**Дерново-подзолистая почва. Десорбция.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 2.13 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 1.50 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 1.26/ |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 1.10 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 0.90 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 0.69 |
| ***r*** | 0.9240 | 0.8341 | -0.9996 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.045 |
| **D** |  |  | 0.766 |
| **W0.99** |  |  | 4.85 |

**Во всех таблицах «Приложения» *р/р0*  означает относительную упругость водяного пара (близкую по величине относительной влажности воздуха); *r* – коэффициент корреляции; ɑ – уровень значимости коэффициента корреляции; C и D – коэффициенты уравнения *W* = G - lg*T* - D∙lg[-lg(*р/р0*)];*W* – влажность почвы (% от массы); *T* – абсолютная температура; *W*0.99 – влажность почвы (рассчитанная) при *р/р0* = 0.99 и *Т* = 2740К.**

**Дерново-подзолистая почва. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 2.03 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 1.34 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 1.09 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 0.95 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 0.78 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 0.61 |
| ***r*** | 0.8949 | 0.7250 | -0.9978 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 2.920 |
| **D** |  |  | 0.760 |

**Дерново-подзолистая почва. Сорбция.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 2.03 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 1.34 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 1.09 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 0.95 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 0.78 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 0.61 |
| ***r*** | 0.8949 | 0.7250 | -0.9978 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |

**Дерново-подзолистая почва. Сорбция.**



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 12.74 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 8.59 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 7.16 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 6.32 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 5.09 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 3.71 |
| ***r*** | 0.9169 | 0.8278 | -0.9999 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 5.435 |
| **D** |  |  | 4.761 |
| **W0.99** |  |  | 16.67 |

**Чернозем. Глубина 20 см.**

**Десорбция.**

**Чернозем. Глубина 20 см. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 11.76 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 7.97 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 6.48 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 5.60 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 4.27 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 3.13 |
| ***r*** | 0.9225 | 0.8309 | -0.9993 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.837 |
| **D** |  |  | 4.611 |

**Чернозем. Глубина 20 см.**

**Сорбция.**

**Чернозем. Глубина 20 см. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 9.89 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 6.52 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 5.61 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 4.76 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 3.68 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 2.62 |
| ***r*** | 0.9231 | 0.8358 | -0.9996 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.517 |
| **D** |  |  | 3.836 |
| **W0.99** |  |  | 13.57 |

**Чернозем. Глубина**

**150 см. Десорбция.**

**Чернозем. Глубина 150 см. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 9.62 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 6.19 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 4.99 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 4.24 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 3.26 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 2.42 |
| ***r*** | 0.9037 | 0.8058 | -0.9987 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.102 |
| **D** |  |  | 3.859 |

**Чернозем. Глубина 150 см.**

**Сорбция.**

**Чернозем. Глубина 150 см. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 5.53 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 3.99 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 3.51 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 2.91 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 2.32 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.69 |
| ***r*** | 0.9485 | 0.8686 | -0.9956 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.960 |
| **D** |  |  | 2.033 |
| **W0.99** |  |  | 8.76 |

**Темно-каштановая почва.**

**Десорбция.**

**Темно-каштановая почва. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 5.39 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 3.73 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 2.99 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 2.65 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 2.02 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.53 |
| ***r*** | 0.9225 | 0.8300 | -0.9986 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.654 |
| **D** |  |  | 2.070 |

**Темно-каштановая почва.**

**Сорбция.**

**Темно-каштановая почва. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 5.80 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 3.54 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 2.86 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 2.35 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 1.82 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.37 |
| ***r*** | 0.8868 | 0.7840 | -0.9965 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.275/3.135 |
| **D** |  |  | 2.383/2.303 |
| **W0.99** |  |  | 8.90 |

**Серозем.**

**Десорбция.**

**Серозем. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 5.53 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 3.32 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 2.50 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 2.20 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 1.68 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.24 |
| ***r*** | 0.8748 | 0.7690 | -0.9941 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.135 |
| **D** |  |  | 2.303 |

**Серозем.**

**Сорбция.**

**Серозем. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 8.90 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 5.15 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 4.12 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 3.27 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 2.47 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.81 |
| ***r*** | 0.8775 | 0.7718 | -0.9947 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.305 |
| **D** |  |  | 3.820 |
| **W0.99** |  |  | 12.32 |

**Аллювиальная тропическая почва.**

**Десорбция.**

**Аллювиальная тропическая почва. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 8.80 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 4.67 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 3.62 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 2.91 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 2.26 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 1.61 |
| ***r*** | 0.8491 | 0.7392 | -0.9882 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 2.965 |
| **D** |  |  | 3.854 |

**Аллювиальная тропическая почва.**

**Сорбция.**

**Аллювиальная тропическая почва. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 14.0 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 9.88 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 7.50 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 6.16 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 4.15 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 3.14 |
| ***r*** | 0.9324 | 0.8360 | -0.9932 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.536 |
| **D** |  |  | 5.979 |
| **W0.99** |  |  | 18.65 |

**Краснозем.**

**Десорбция.**

**Краснозем. Десорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.98 | -0.01 | -2.05 | 12.66 |
| 0.86 | -0.07 | -1.18 | 7.63 |
| 0.75 | -0.12 | -0.90 | 6.03 |
| 0.63 | -0.20 | -0.70 | 5.09 |
| 0.44 | -0.36 | -0.45 | 4.02 |
| 0.20 | -0.70 | -0.15 | 2.99 |
| ***r*** | 0.8780 | 0.7739 | -0.9952 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.187 |
| **D** |  |  | 5.184 |

**Краснозем.**

**Сорбция.**

**Краснозем. Сорбция.**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.942 | -0.026 | -1.585 | 7.61 |
| 0.868 | -0.061 | -1.215 | 6.24 |
| 0.548 | -0.261 | -0.900 | 5.03 |
| 0.582 | -0.235 | -0.630 | 3.96 |
| 0.383 | -0.417 | -0.380 | 2.91 |
| 0.177 | -0.752 | -0.124 | 1.97 |
| 0.069 | -1.161 | 0.065 | 1.21 |
| 0.034 | -1.469 | 0.167 | 0.88 |
| ***r*** | 0.9831 | 0.8985 | -0.9999 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 3.967 |
| **D** |  |  | 3.884 |
| **W0.99** |  |  | 13.13 |

**Почва Вегнерсау**

**Сорбция**

**Почва Вегнерсау**

**Сорбция**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.942 | -0.026 | -1.585 | 20.62 |
| 0.868 | -0.061 | -1.215 | 16.86 |
| 0.548 | -0.261 | -0.900 | 13.62 |
| 0.582 | -0.235 | -0.630 | 10.58 |
| 0.383 | -0.417 | -0.380 | 8.00 |
| 0.177 | -0.752 | -0.124 | 5.45 |
| 0.069 | -1.161 | 0.065 | 3.49 |
| 0.034 | -1.469 | 0.167 | 2.83 |
| ***r*** | 0.9811 | 0.8909 | -0.9997 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 6.726 |
| **D** |  |  | 10.310 |
| **W0.99** |  |  | 31.06 |

**Почва Вегнерсау.**

**Фракция ˂ 2 мкм.**

**Сорбция**

**Почва Вегнерсау. Фракция ˂ 2 мкм.**

**Сорбция**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



**Почва Вегнерсау.**

**Фракция 2 - 6 мкм.**

**Сорбция**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.942 | -0.026 | -1.585 | 16.52 |
| 0.868 | -0.061 | -1.215 | 13.83 |
| 0.548 | -0.261 | -0.900 | 11.38 |
| 0.582 | -0.235 | -0.630 | 9.01 |
| 0.383 | -0.417 | -0.380 | 6.72 |
| 0.177 | -0.752 | -0.124 | 4.70 |
| 0.069 | -1.161 | 0.065 | 3.04 |
| 0.034 | -1.469 | 0.167 | 2.18 |
| ***r*** | 0.9837 | 0.9061 | -0.9995 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 6.127 |
| **D** |  |  | 8.292 |
| **W0.99** |  |  | 25.70 |

**Почва Вегнерсау. Фракция 2 - 6 мкм.**

**Сорбция**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.942 | -0.026 | -1.585 | 9.82 |
| 0.868 | -0.061 | -1.215 | 8.53 |
| 0.548 | -0.261 | -0.900 | 7.01 |
| 0.582 | -0.235 | -0.630 | 5.62 |
| 0.383 | -0.417 | -0.380 | 4.18 |
| 0.177 | -0.752 | -0.124 | 2.85 |
| 0.069 | -1.161 | 0.065 | 1.81 |
| 0.034 | -1.469 | 0.167 | 1.26 |
| ***r*** | 0.9865 | 0.9174 | -0.9977 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 4.721 |
| **D** |  |  | 5.022 |
| **W0.99** |  |  | 16.57 |

**Почва Вегнерсау.**

**Фракция 6 - 20 мкм.**

**Сорбция**

**Почва Вегнерсау. Фракция 6 - 20 мкм.**

**Сорбция**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



**Почва Вегнерсау.**

**Фракция > 20 мкм.**

**Сорбция**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***р/р0*** | **lg (*р/р0*)** | **lg [-lg (*р/р0*)]** | **Влажность, %** |
| 0.942 | -0.026 | -1.585 | 2.05 |
| 0.868 | -0.061 | -1.215 | 1.63 |
| 0.548 | -0.261 | -0.900 | 1.35 |
| 0.582 | -0.235 | -0.630 | 1.07 |
| 0.383 | -0.417 | -0.380 | 0.82 |
| 0.177 | -0.752 | -0.124 | 0.54 |
| 0.069 | -1.161 | 0.065 | 0.35 |
| 0.034 | -1.469 | 0.167 | 0.25 |
| ***r*** | 0.9813 | 0.9003 | -0.9997 |
| ***ɑ*** | ˂0.05 | ˂0.05 | ˂0.05 |
| **G** |  |  | 2.890 |
| **D** |  |  | 1.024 |
| **W0.99** |  |  | 5.31 |

**Почва Вегнерсау. Фракция > 20 мкм.**

**Сорбция**

Var1 (x) – двойной логарифм относительной упругости паров воды – lg{-lg [(р/ро)]}

Var2 – влажность почвы (% от массы почвы)



**Sudnitsyn I.I.**

**The hydrophysical properties of soils and perspectives of guarantee of life of cosmonauts on Mars**:

For intensification of investigation of Mars cosmonauts must be there. For their food it is necessary to grow xerotolerant plants. Its can grow and produce if soil moisture content is more than critical level corresponding to relative moisture of air 0.99. For determination of this soil moisture content it is necessary synchronously measuring of soil moisture content, relative moisture of air and soil temperature. There are instruments for this measuring on Mars. Results of this measuring are calculating by using mathematic formula that was strictly deducted and experimentally controlled.

Key words: xerotolerant plants, soil moisture content, relative moisture of air, soil temperature.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Физические основы экологических функций почв: технологии мониторинга, прогноза и управления»).