

**ВЛИЯНИЕ ФЕРТИГАЦИИ НА ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВЫ**  
**Зиганшин Б.Г., Галиев И.Г., Хусаинов Р.К., Мухаметшин А.А., Абдельфаттах А.Х.**

**Реферат.** Солевое состояние оказывает заметное влияние на физические и водные свойства почвы. Это связано, с одной стороны, с тем, что вода принимает непосредственное участие в процессах переноса и распределения солей. С другой стороны, основные параметры процессов влаго- и солепереноса напрямую зависят от физических свойств почвы, которые изменяются под действием растворимых солей. Цель нашего исследования – определение влияния фертигации на засоление почвы и содержания в ней водно-стабильных агрегатов. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: фертигация питательным раствором с высоким засолением ( $EC = 1$  мСм/см,  $pH = 6$ ); фертигация питательным раствором с низким засолением ( $EC = 2$  мСм/см,  $pH = 6$ ); полив водопроводной водой без удобрений ( $EC = 274$  мСм/см,  $pH = 6,5$ ); без удобрений и полива – контроль. Для снятия изучаемых характеристик использовали датчики типа 5TE, которые независимо определяют три показателя – объемное содержание воды (VWC) путем измерения диэлектрической проницаемости среды на основе емкостной/частотной технологии, температуру и электропроводность (EC). В качестве показателя деградации почвы измеряли стабильность агрегатов почвы. Экспериментальные исследования проводили в западной части города Прага, среднегодовая температура воздуха –  $9,1^{\circ}C$ , сумма осадков – 495 мм. Почва – чернозём суглинистой текстуры с содержанием 22,0...32,5 % песка, 39,5...54,0 % ила и 22,0...28,0 % глины. Предельная полевая влагоёмкость почвы и влажность устойчивого увядания составляют 34 и 21 % соответственно. Результаты непрерывного мониторинга электропроводности почвы свидетельствуют, что используемые в опыте концентрации растворов для фертигации не приводят к засолению почвы. При этом в вариантах с орошением, в том числе растворами минеральных удобрений, возрастает доля водопрочных агрегатов.

**Ключевые слова:** фертигация, диффузия, засоление, орошение, осмос, дренаж.

**Введение.** Вода – основной ограничительный фактор для сельскохозяйственного производства во многих частях мира. На орошаемых землях производят более 40 % продовольствия в мире. Кроме того, рост спроса на воду для городских и сельскохозяйственных целей объясняется увеличением численности населения. Один из наиболее вероятных вариантов удовлетворения этих потребностей – использование воды с повышенным уровнем минерализации, включая дренажные воды, образующиеся при орошении посевов сельскохозяйственных культур, муниципальные сточные воды и грунтовые воды низкого качества. В то же время при их использовании необходимо применение дополнительного количества воды для выщелачивания солей из корнеобитаемого слоя с целью предотвращения чрезмерного накопления солей, ограничивающего урожайность сельскохозяйственных культур. Риск засоления почвы снижается по мере изменения ее текстуры от мелкой к крупной, что обусловлено более крупными порами песчаных почв, которые обеспечивают более быстрый дренаж [1, 2].

Один из наиболее перспективных современных методов удобрения сельскохозяйственных растений – фертигация, который предусматривает подачу растворенных минеральных элементов вместе с поливной водой. Однако при ее необоснованном применении существует потенциальная опасность засоления почвы с дальнейшими негативными последствиями как для растений, так и для свойств почвы. При этом изменение осмотического давления из-за увеличения концентрации минеральных веществ в почвенном растворе делает воду менее доступной для корневых систем растений [3].

Сельскохозяйственные культуры по-разному реагируют на засоление почвы. Некоторые из них могут формировать приемлемый урожай при достаточно высоком уровне солей в почве, а другие очень чувствительны к засолению, что во многом связано со способностью растений адаптироваться к изменениям осмотического давления в почвенном растворе [4, 5].

Для рекультивации засоленных почв необходимы оценка и мониторинг их состояния. Степень минерализации почвенного раствора определяется путем измерения электропроводности (EC) водной суспензии из почвы. Этот метод можно использовать в различных условиях, однако его применение связано с отбором образцов почвы и способам измерения EC почвенной суспензии. Поэтому сложно контролировать изменение содержания солей в динамике на небольшой площади, поскольку отбор проб почвы происходит с нарушением исследуемой среды (структура почвы, потоки воды и др.), занимает много времени и зачастую дорого стоит.

Засоление почвы можно также оценивать косвенными методами путем измерения объемного электросопротивления ( $ER$ , Ом·см), или объемной электропроводности ( $ECa$ , Ом·м). Разработка проксимальных систем почвенных датчиков и геофизических методов измерения  $ECa$  или  $ER$  облегчает сбор больших данных с использованием менее дорогостоящей, более простой и менее трудоемкой в использовании техники. Эти датчики могут быть инвазивными или не инвазивными, в том числе монтироваться на транспортных средствах. При этом желательно использовать наименее инвазивные методы и самые совершенные

шенные датчики для сбора большого количества данных [6].

Еще один важный фактор, связанный с плодородием почвы, – устойчивость почвенных агрегатов (WSA), которая определяет способность сопротивления почвы разрушающему воздействию осадков, стокаповерхностных вод и ветра. Помимо внешних факторов, на величину этого показателя влияют многие внутренние свойства почвы, например, содержание органических веществ, гранулометрический состав, пористость и др., а также эффективность управления землепользованием [7].

Цель нашего исследования – определение влияния фертигации на засоление почвы и содержания в ней водно-стабильных агрегатов.

**Условия, материалы и методы исследований.** Экспериментальные исследования осуществляли в западной части города Прага на территории кампуса Чешского университета естественных наук с географическими координатами 50° 8'N и 14° 23'E. Высота над уровнем моря составляет 286 м, среднегодовая температура воздуха – 9,1°C, сумма осадков – 495 мм. Почва – чернозём суглинистой текстуры с содержанием 22,0...32,5 % песка, 39,5...54,0 % ила и 22,0...28,0 % глины. Предельная полевая влагоёмкость почвы и влажность устойчивого увядания составляют 34 и 21 % соответственно. Траву на рассматриваемом участке посеяли весной 2009 г. и с тех пор ее состояние поддерживали в виде короткого газона [8].

Количество доступной влаги в корнеобитаемой зоне представляет собой разницу между фактической влажностью почвы и влажностью устойчивого увядания:

$$TAW = 1000(\theta_{fc} - \theta_{wp})Z_r, \quad (1)$$

где  $TAW$  – содержание доступной влаги в корнеобитаемой зоне, мм;

$\theta_{fc}$  – фактическая влажность почвы, %;

$\theta_{wp}$  – содержание воды в точке увядания, %;

$Z_r$  – глубина корнеобитаемого слоя, мм.

Для проведения экспериментов поле было разделено на 4 участка:

с фертигацией питательным раствором А (ЕС = 1 мСм/см, рН = 6) – высокое засоление;

с фертигацией питательным раствором В (ЕС = 2 мСм/см, рН = 6) – низкое засоление;

с поливом водопроводной водой без удобрений (ЕС = 274 мСм/см, рН = 6,5) – орошение;

без удобрений и полива – контроль.

Для снятия изучаемых характеристик использовали датчики типа 5TE, которые независимо определяют три показателя – объемное содержание воды (VWC) путем измерения диэлектрической проницаемости среды на основе емкостной/частотной технологии, температуру и ЕС. На каждом участке были установлены по два датчика: один – на глубине 10 см, второй – 20 см. Кроме того, для настройки и загрузки данных в формате Excel использовали два электронных регистратора Em50 были с программным обеспечением ECH2O. Интервал измерения – 1 ч.

Сведения о погоде получали с метеостанции в Suchdol ежедневно, используя TightVNC, пакет программного обеспечения дистанционного управления. Суточную эвапотранспирацию травяного газона оценивали с использованием DSS-FSS, работающей по модифицированным уравнениям ФАО Penman-Monteith [10].

Количественный показатель общего засоления почвы определяли путем извлечения водорастворимых солей из почвы дистиллированной водой (при отношении почвы к воде 1:5) и измерения удельной электрической проводимости водной вытяжки. Содержание водостойких агрегатов (WSA) измеряли в соответствии с методологией для устройства ситового просеивания № 12 (Diaz-Zorita, et al., 2002) и стандарта DIN 19683-16 [11]:

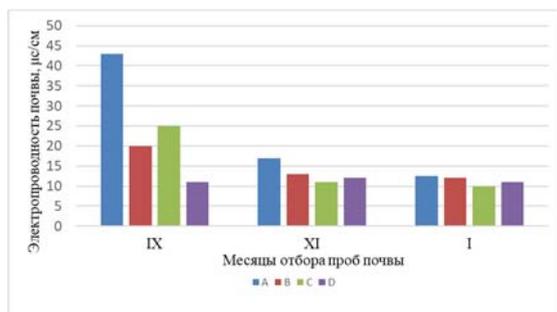
$$WSA = \frac{Wds}{Wds + Wdw}, \quad (2)$$

где  $WSA$  – индекс водопрочности (стабильности) агрегатов;

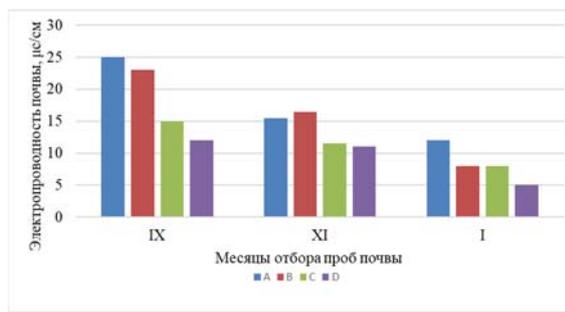
$Wds$  – масса диспергированных агрегатов в диспергирующем растворе, г;

$Wdw$  – масса диспергированного агрегата в дистиллированной воде, г.

Пробы для исследования отбирали из почвы в сентябре, ноябре и январе. Образцы биомассы также были взяты после вегетационного периода для оценки общей сухой массы.



а)



б)

Рисунок 1 – Электропроводность почвы на глубине 10 см (а) и 20 см (б): А – высокое засоление, В – низкое засоление, С – орошение, D – контроль.

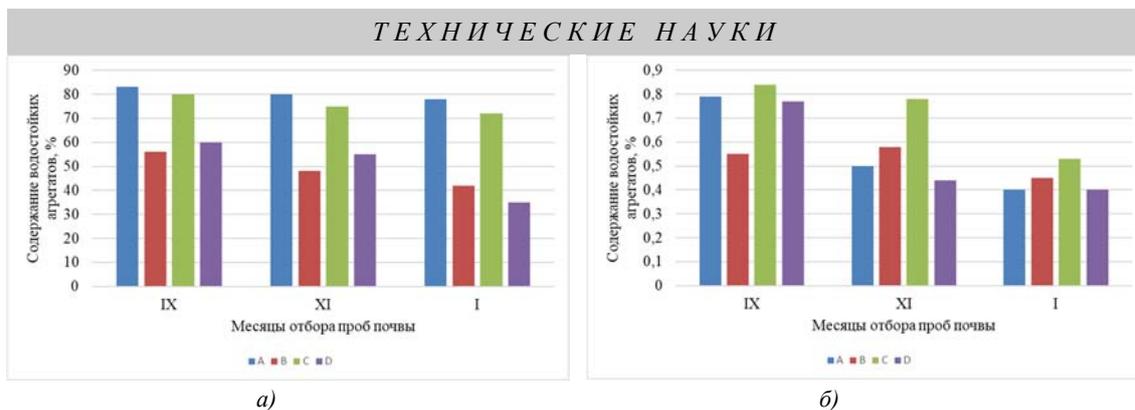


Рисунок 2 – Содержание водостойких агрегатов на глубине 10 см (а) и 20 см (б): А– высокое засоление, В– низкое засоление, С – орошение, D – контроль

**Анализ и обсуждение результатов исследований.** Электропроводность почвы (ЕС) мало зависела от участка, глубины и сроков отбора проб, на что указывают незначительные ( $p = 0,173 > 0,05$ ) различия между значениями ЕС для разных методов фертигации на двух глубинах со временем (рисунок 1).

Доля водопрочных агрегатов была несколько выше в варианте с фертигацией питательным раствором А (высокое засоление) и при простом орошении (без питания) в течение всего экспериментального периода. При этом к концу экспериментального периода во всех вариантах с орошением величина WSA была выше, чем в контроле.

Результаты непрерывного мониторинга ЕС

почвы с помощью системы Decagon ECH2O и датчиков 5TE показали, что в ходе опыта величина этого показателя, согласно классификации USDA [12], изменялась в границах, соответствующих почве без засоления и слабо засоленной. В конце экспериментального периода на всех участках засоление почвы отсутствовало.

**Выводы.** Результаты непрерывного мониторинга электропроводности почвы свидетельствуют, что используемые в опыте концентрации растворов для фертигации не приводят к засолению почвы. При этом в вариантах с орошением, в том числе растворами минеральных удобрений, возрастала доля водопрочных агрегатов.

#### Литература

1. Абделфаттах А.Х., Гомаа И.М., Халиуллин Д.Т. Энергоэффективное использование водных ресурсов в сельском хозяйстве //Агроинженерная наука XXI века: труды региональной научно-практической конференции. Казань: Изд-во Казанского ГАУ. 2018. 416 с. С. 335-339.
2. Абделфаттах А.Х., Халиуллин Д.Т., Гомаа И.М. Управление орошением почвы с использованием датчиков влажности // Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса: материалы международной научно-практической конференции ИМиТС. Казань: Изд-во Казанского ГАУ. 2018. С. 18-26.
3. Capra A., Scicolone B. Recycling of poor-quality urban waste water by drip irrigation systems //Cleaner Prod. 2007. No. 15.P. 1529–1534.
4. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements: FAO Irrigation and drainage paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome, 328.
5. Энергоресурсосберегающие технологии и техника для обработки почвы и посева в засушливых условиях / Н.К. Мазитов Н.К., Б.Г. Зиганшин, А.Р. Валиев и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2013. № 4 (30). С.65-75.
6. Adamchuk V., Viscarra Rossel R. Development of on-the-go proximal soil sensor systems. Proximal soil sensing / eds. R. ViscarraRossel, A. Mc Bratney, B. Minasny. Netherlands: Springer, 2010. P. 15–28
7. Ensuring possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems / I.Galiev, K. Khafizov, R. Khusainov, et al. //19th International Scientific Conference Engineering for rural development Proceedings. 2020. Vol. 18. P. 48-53
8. Corwin D. L., Lesch S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles, and guidelines //Agron. J., Vol. 95. No. 3.P. 455–471.
9. Moreira Barradas J. M., Matula S., Dolezal F. A decision support system-fertigation simulator (DSS-FS) for design and optimization of sprinkler and drip irrigation systems //Comput. Electron. Agric.2012.No. 86. P. 111–119.
10. Diaz-Zorita M., Perfect E., Grove J.H. Disruptive methods for assessing soil structure //Soil Till. Res.2002.No. 64. P. 3–22.
11. Miháliková M., Matula S., Doležal F. HYPRESCZ—Database of 440 soil hydrophysical properties in the Czech Republic // Soil Water Res.2013.Vol. 441. No. 8.P. 34–41.
12. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements / R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, et al. FAO Irrigation and drainage. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998. paper 56. 328 p.

#### Сведения об авторах:

Зиганшин Булат Гусманович – доктор технических наук, проректор по УВР, e-mail: ziganb6@mail.ru  
Галиев Ильгиз Гакифович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: drgali@mail.ru

Хусаинов Раиль Камилевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агро-бизнесе, e-mail: rail-1312@mail.ru  
 Мухаметшин Альберт Ахатович – кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонт машин, e-mail: asu-atp2@yandex.ru  
 Абдельфаттах Ахмед Х. – аспирант  
 Казанский государственный аграрный университет, г. Казань, Россия

**INFLUENCE OF FERTIGATION ON SOIL SALINATION**  
**Ziganshin B.G., Galiev I.G., Khusainov R.K., Mukhametshin A.A., Abdelfattah A.Kh.**

**Abstract.** The salt state has a noticeable effect on the physical and water properties of the soil. That is why the distribution of its water-physical properties along the profile and in space in territories with different soil-climatic, hydrological and hydrochemical conditions should be individual. This is due, on the one hand, to the fact that water is directly involved in the processes of transfer and distribution of salts. On the other hand, the main parameters of the processes of moisture and salt transfer directly depend on the physical properties of the soil, which change under the influence of soluble salts. We have assessed the effect of fertigation on the physicochemical properties of the soil. Four fertigations with different salinity levels were tested. The influence of precipitation on soil desalinization through salt leaching was controlled by comparing changes in soil electrical conductivity during and after the growing season. To measure the studied characteristics, sensors of the 5TE type were used, which independently determine three indicators - the volumetric water content (VWC) by measuring the dielectric constant of the medium based on capacitive / frequency technology, temperature and EC. The stability of soil aggregates was also measured as an indicator of soil degradation. The electrical conductivity of the soil during pre-sowing (or after sowing) treatment was higher than at the end of the growing season. Experimental studies were carried out in the western part of the city of Prague on the campus of the Czech University of Life Sciences with geographic coordinates 50 ° 8'N and 14 ° 23'E. The altitude is 286 m, the average annual air temperature is 9.1 ° C, the amount of precipitation is 495 mm. The soil is loamy chernozem with a content of 22.0 ... 32.5% sand, 39.5 ... 54.0% silt and 22.0 ... 28.0% clay. The limiting field moisture capacity of the soil and the moisture content of stable wilting are 34 and 21%, respectively. It was found that fertigation in the short term is not harmful to the soil in the presence of sufficient precipitation.

**Key words:** fertigation, diffusion, salinization, irrigation, osmosis, drainage.

**References**

1. Abdelfattakh AKh, Goma IM, Khaliullin DT. Energoeffektivnoe ispol'zovanie vodnykh resursov v sel'skom khozyaistve. Agroinzhenernaya nauka XXI veka: trudy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii. [Energy efficient use of water resources in agriculture. Agroengineering science of XXI century: proceedings of the regional scientific and practical conference]. Kazan: Izd-vo Kazanskogo GAU. 2018; 416 p. 335-339 p. Russian.
2. Abdelfattakh AKh, Khaliullin DT, Goma IM. Upravlenie oshoseniem pochvy s ispol'zovaniem datchikov vlazhnosti. Sovremennoe sostoyanie, problemy i perspektivy razvitiya mekhanizatsii i tekhnicheskogo servisa agropromyshlennogo kompleksa: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii IMiTS. [Management of soil irrigation using moisture sensors. Current state, problems and prospects for the development of mechanization and technical service of the agro-industrial complex: proceedings of international scientific and practical conference IMiTS]. Kazan: Izdvo Kazanskogo GAU. 2018; 18-26 p. Russian.
3. Capra A, Scicolone B. [Recycling of poor-quality urban waste water by drip irrigation systems]. Cleaner Prod. 2007; No.15: 1529-1534 p.
4. Allen RG, Pereira LS, Raes D, and Smith M. (1998). [Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements: FAO Irrigation and drainage paper 56, food and agriculture organization]. Rome, 328 p.
5. Mazitov NK, Ziganshin BG, Valiev AR. [Energoresursosbergayushchie tekhnologii i tekhnika dlya obrabotki pochvy i poseva v zasushliviyykh usloviyakh]. Vestnik Kazanskogo GAU. 2013; №4 (30): 65-75 p. Russian.
6. Adamchuk V, Viscarra Rossel R, Bratney AMc, Minasny B. [Development of on-the-go proximal soil sensor systems. Proximal soil sensing]. Netherlands: Springer. 2010; 15-28 p.
7. Galiev I, Khafizov K, Khusainov R. Ensuring possibility of functioning of tractors in agricultural production taking into account residual resources of their units and systems. // 19<sup>th</sup> International scientific conference engineering for rural development proceedings. 2020; Vol.18: 48-53 p.
8. Corwin DL, Lesch SM, Agron J. [Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines]. Vol.95; No. 3; 455-471 p.
9. Moreira Barradas JM, Matula S., Dolezal F. [A decision support system-fertigation simulator (DSS-FS) for design and optimization of sprinkler and drip irrigation systems]. Comput. electron. Agric. 2012; No. 86: 111-119 p.
10. Diaz-Zorita M, Perfect E, Grove JH. [Disruptive methods for assessing soil structure]. Soil till. Res.2002; No. 64: 3-22 p.
11. Mikhailikova M, Matula S, Dolezal F. [HYPRESCZ - database of 440 soil hydrophysical properties in the Czech Republic]. Soil water. Res. 2013; Vol. 441; No. 8: 34-41 p.
12. Allen RG, Pereira LS, Raes D. [Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements]. FAO irrigation and drainage. Rome: Food and agriculture organization. 1998; paper 56: 328 p.

**Authors:**

Ziganshin Bulat Gusmanovich – Doctor of technical sciences, First Vice-Rector - Vice-Rector for Internal Affairs, e-mail: zigan66@mail.ru  
 Galiev Ilgiz Gakifovich – Doctor of technical sciences, Professor of operation and repair of machines Department, e-mail: drgali@mail.ru  
 Khusainov Rail Kamilevich – Ph.D. of technical sciences, associate professor of machinery and equipment in agribusiness Department, e-mail: rail-1312@mail.ru  
 Mukhametshin Albert Akhatovich – Ph.D. of technical sciences, associate professor of operation and repair of machines Department, e-mail: asu-atp2@yandex.ru  
 Abdelfattah Ahmed H. – post-graduate student  
 Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia