



## ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НА МЕЛИОРИРОВАННЫЕ СОЛОНЦЫ СЕВЕРНОЙ ЛЕСОСТЕПИ БАРАБИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2022 Н. В. Елизаров , В. В. Попов 

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: [elizarov@issa-siberia.ru](mailto:elizarov@issa-siberia.ru)

**Цель исследования:** определение уровня и химический состав почвенно-грунтовых вод и их влияния на свойства подпитываемых почв.

**Место и время проведения.** Северная лесостепь Барабинской низменности (Чулымский и Чановский район Новосибирской области) 2011–2021 гг.

**Методы.** Определение уровня залегания и отбор образцов грунтовых вод на экспериментальных участках (с химической мелиорацией гипсованием и агробиологической мелиорацией путем разрушения солонцового горизонта в сочетании с посевом солевыносливых культур) проводили во временных скважинах. В лабораторных условиях исследовали химический состав почвенно-грунтовых вод и катионно-анионный состав водной вытяжки почв.

**Основные результаты.** Выявлены изменения уровня стояния грунтовых вод и их минерализованности. После подъема уровня грунтовых вод в профиле почв произошло накопление легкорастворимых солей, насыщение почвенно-поглощающего комплекса обменным натрием, восстановление солонцового горизонта. В солонцах средних и мелких, мелиорированных агробиологическим методом при залегании грунтовых вод на уровне 240–250 см в 2021 г. зафиксировано засоление только нижней части профиля (35–100 см), тогда как в контрольном варианте произошло засоление по всему метровому профилю.

**Заключение.** На большей части Барабинской низменности капиллярная кайма грунтовых вод постоянно или периодически присутствует в профиле почв. В условиях увеличения увлажнения территории диагностируется развитие деградиционных процессов, таких как вторичное засоление и осолонцевание почв. В химически мелиорированных корковых солонцах, периодически подпитываемых грунтовыми водами до глубины 50 см, сохранялся мелиоративный эффект на протяжении более 30 лет, после чего произошло постепенное вторичное засоление профиля и накопление обменного натрия в почвенно-поглощающем комплексе. Таким образом, на обоих участках в последнее десятилетие наблюдается подъем грунтовых вод, который приводит к вторичному засолению и осолонцеванию мелиорированных почв. Химическая мелиорация не только улучшила свойства почвы, но и показала высокую устойчивость своего действия при вторичном засолении профиля грунтовыми водами. Мелиорирование солонцов агробиологическим методом также представляется перспективным для замедления ухудшения качества почв и поддержания плодородия.

**Ключевые слова:** грунтовые воды; почвенно-поглощающий комплекс; осолонцевание; засоление; Барабинская низменность; Западная Сибирь

**Цитирование:** Елизаров Н.В., Попов В.В. Влияние колебаний уровня грунтовых вод на мелиорированные солонцы северной лесостепи Барабинской низменности // Почвы и окружающая среда. 2022. Том 5. № 4. e190. DOI: [10.31251/pos.v5i4.190](https://doi.org/10.31251/pos.v5i4.190)

### ВВЕДЕНИЕ

Барабинская низменность имеет ряд особенностей, которые обуславливают развитие пестрого почвенного покрова территории. Слабая дренированность, большое количество озер и болот, а также близкое залегание почвенно-грунтовых вод являются характерными особенностями Барабы. Уровень грунтовых вод изменяется в зависимости от увлажненности территории. Климат исследуемой территории резко континентальный, отличается чередованием сухих и влажных периодов продолжительностью 11, 32, 80–90 и 1800–1900 лет (Левина, Орлова, 1993; Riedel et al., 2011). Довольно ясно прослеживается 32-летний цикл, который отражается в изменении уровней озер и водности рек (Анопченко, Якутин, 2013; Krivonogov et al., 2015; Song et al., 2015). Происходит чередование многоснежных и дождливых периодов длительностью 3–5 лет с малоснежными и засушливыми (Zhilich et al., 2014, 2015). Во влажные периоды вследствие увеличения зимнего влагозапаса происходит переувлажнение и подтопление

сельскохозяйственных угодий, особенно в пониженных элементах рельефа (Днепровская, Яценко, 2018). Питание грунтовых вод атмосферными осадками происходит через колочные западины и межгрядные понижения, которые являются аккумуляторами стоковых вод. Рельеф Барабинской низменности гривно-равнинный, что усложняет мелиоративные мероприятия на местности, так как межгрядные понижения в большинстве своем не имеют стока и практически все имеют признаки заболоченности или засоления. На гривах, в условиях периодического переувлажнения, в микрозападинах формируются солоды и осолоделые почвы, на которых произрастает древесная растительность, представленная, в основном, березовыми или березово-осиновыми колками способствующие дополнительному снегозадержанию и уменьшению испаряемости. В мезопонижениях формируются заболоченные солоды, которые, в дальнейшем, могут служить дном рямов. В настоящее время, болота, сформировавшиеся таким образом встречаются в Барабинском, Убинском и Чулымском районах (Убинский рям, Кожурлинский рям и др.). Засоление почв особенно ярко выражено в приболотном поясе, где грунтовые воды имеют повышенную степень минерализации.

Близкое залегание минерализованных грунтовых вод и плохая дренированность территории обусловили возникновение болотных и лугово-болотных почв, различной степени засоления (Елизаров, 2015). В центральной части Барабинской низменности они занимают межгрядные понижения и периферию озер. Эти почвы холодные, по всему профилю содержат токсичные для растений закисные соединения. В естественном немелиорированном состоянии используются под сенокосы и пастбища (Добротворская и др., 2019).

Осушительные каналы, созданные во время сельскохозяйственного освоения Барабы, не только позволили ввести в пашню огромные массивы плодородных земель, но и открыли доступ к обширным кормовым угодьям, что вывело отрасль животноводства Сибири на новый уровень. Но после сокращения финансирования предприятий мелиоративных систем и их передачи на баланс сельхозпредприятий осушительные каналы перестали поддерживаться в надлежащем состоянии. Произошло заиливание, зарастание каналов, что привело к потере их пропускной способности (Кирейчева и др., 2009).

В настоящее время фиксируется подъем уровня минерализованных грунтовых вод в восточной части Барабинской низменности (Елизаров, Попов, 2020). Избыточное увлажнение слабо дренированной территории, некоторые области которой не имеют стока вызывает такие деградационные процессы, как осолонцевание, осолодение и засоление почв

Цель исследований – мониторинг состояния почвенно-грунтовых вод и подпитываемых ими почв северной лесостепи Барабинской низменности.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в лесостепной зоне Барабинской равнины: Чулымский и Чановский районы Новосибирской области (НСО) (рис. 1).



**Рисунок 1.** Участки исследований в Чулымском (1) и Чановском (2) районах Новосибирской области (НСО).

Первый участок исследований расположен в Чулымском районе НСО (55.080833° с.ш. и 81.206667° в.д., высота 152 м над уровнем моря) на полого-увалистой равнине с ложинообразными заболоченными понижениями, вытянутыми с северо-востока на юго-запад, в

направлении общего уклона. В почвенном покрове преобладают солонцы корковые. Материнские породы представлены четвертичными средними суглинками с редкими прослоями песка и супеси.

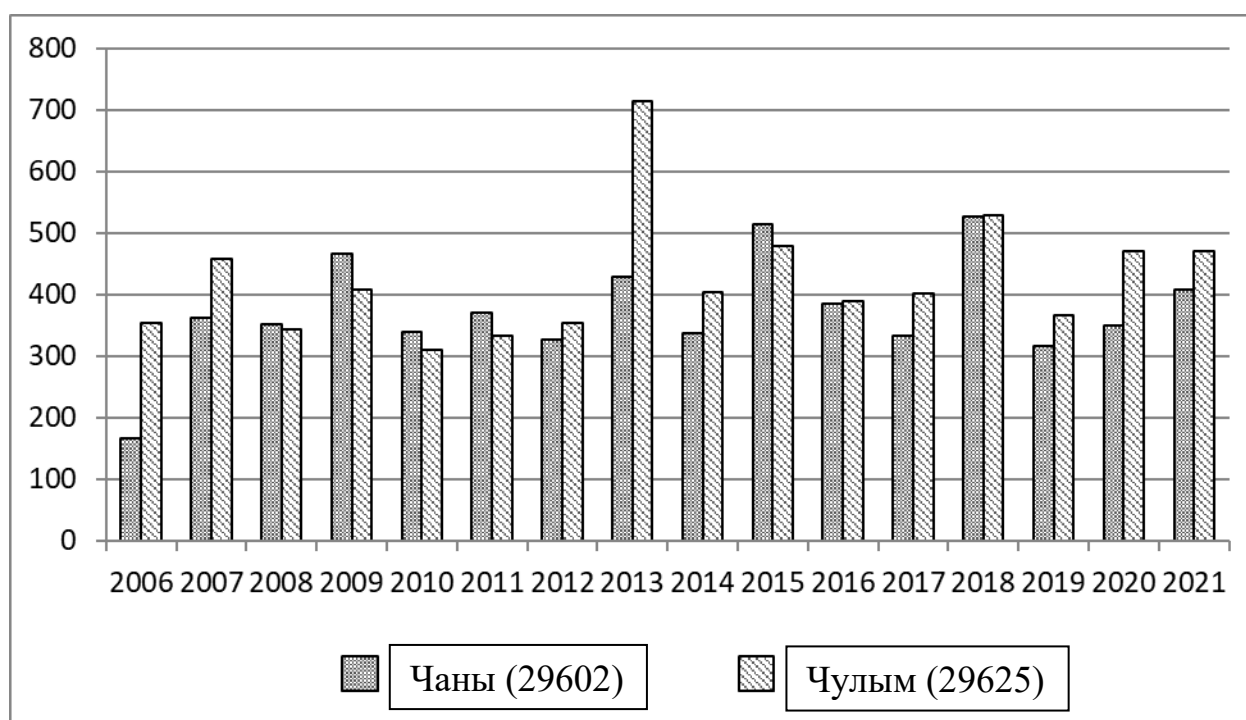
Наблюдения за уровнем залегания и солевым составом грунтовых вод проводили на опыте по изучению химической мелиорации солонцов ежегодно с 1984 по 1994 гг. сотрудниками СибНИИЗиХ СФНЦА РАН. С 2006 по 2014 гг. исследования продолжены коллективом кафедры почвоведения и агрохимии НГАУ, с 2014 г. – сотрудниками лаборатории географии и генезиса почв ИПА СО РАН. В микроделяночном опыте исследовалось влияние внесения различных доз гипса в профиль солонца коркового.

Второй участок расположен в Чановском районе НСО (55.388739° с.ш. и 76.927461 ° в.д., высота 107 м над уровнем моря) на опытном поле СибНИИ Кормов СФНЦА РАН. Определение уровня залегания грунтовых вод производились в 1985 г. при закладке опыта по изучению действия агробиологической мелиорации солонцов. Агробиологический метод мелиорации включает в себя агротехнические приемы разрушения солонцового горизонта в сочетании с посевом солевыносливых культур. С 2006 по 2014 гг. на опыте провели залужение, с 2014 г. делянки продолжили обрабатывать. В 2011, 2014 и 2017 гг. наблюдения за уровнем залегания и влиянием почвенно-грунтовых вод на профиль почв проводили авторским коллективом ИПА СО РАН.

Химический состав почвенно-грунтовых вод и состав водной вытяжки почв определяли по ГОСТ 26423-85; 26428-85.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Погодные условия за период с 2006 по 2021 гг. характеризовались нормальным и повышенным увлажнением; отмечен тренд увеличения увлажненности территории по данным метеостанций. Резко выделяются избыточным увлажнением погодные условия 2013 года (715 мм при норме 350 мм) на участке в Чулымском районе НСО, причем половина осадков этого года выпала за три летних месяца (рис. 2).

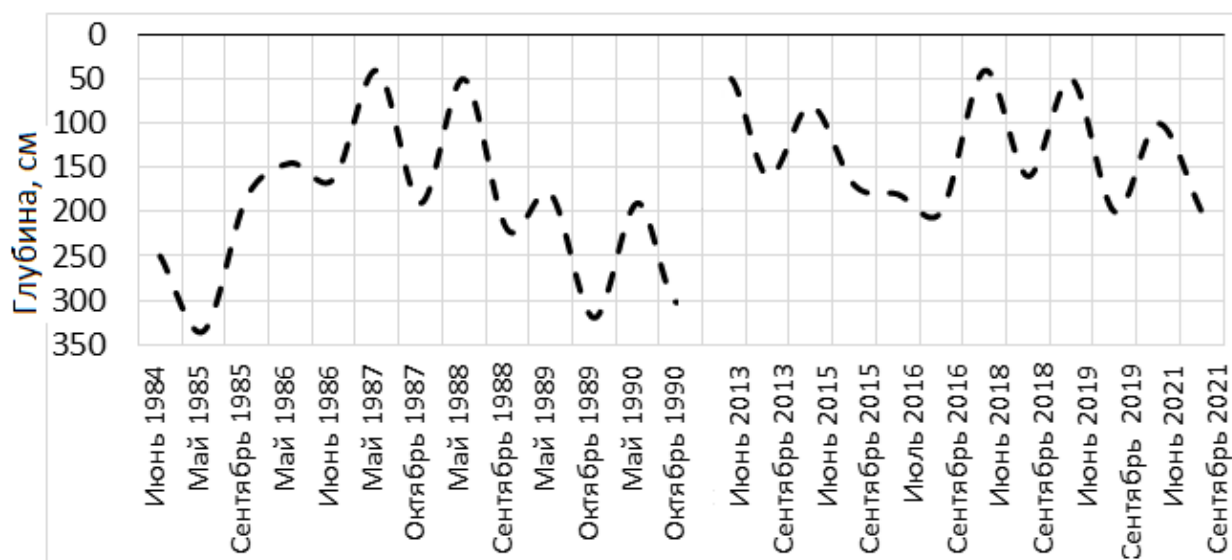


**Рисунок 2.** Осадки (мм) на участках исследований с 2006 по 2021 гг. по данным ГМС Чулым (29625) и ГМС Чаны (29602).

В 2015, 2018 и 2020 гг. также отмечено повышенное количество выпавших осадков (479, 528 и 471 мм соответственно).

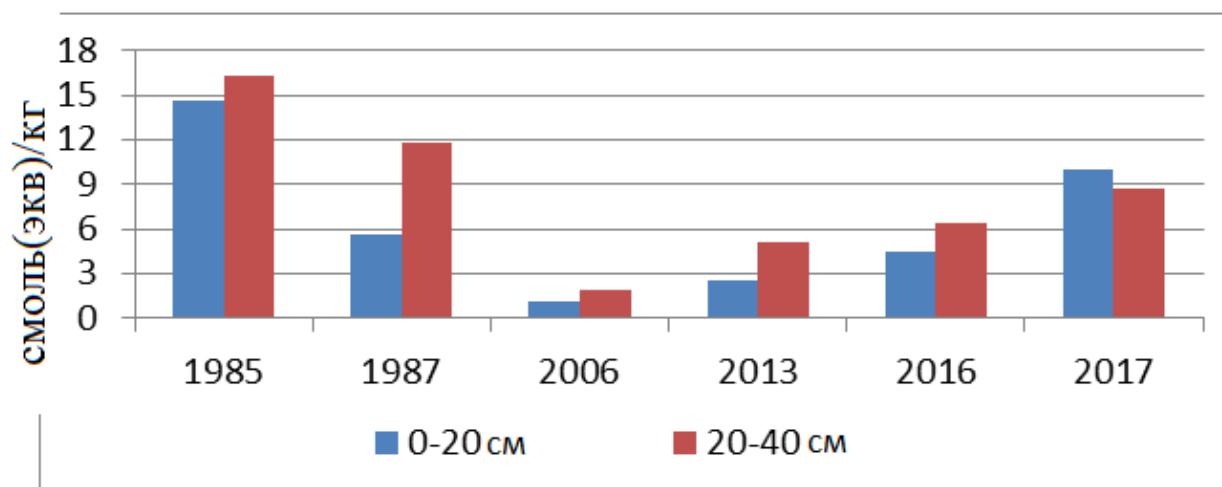
На втором участке исследований количество осадков в исследованный период также превышало норму, выделялись 2009, 2015 и 2018 гг. (466, 514 и 526 мм соответственно, при норме 331 мм).

Повышенное количество осадков отразилось на уровне грунтовых вод (УГВ) обоих участков. Минимальный уровень залегания грунтовых вод на первом участке исследований (Чулымский район НСО) за всю историю наблюдений зафиксирован в 1985 г. (при закладке опыта) на глубине 3,5 м (рис. 3). В первое десятилетие уровень грунтовых вод поднялся и фиксировался от 50 до 150 см весной, а осенью на уровне 2 м. В 1989 и 1990 гг. подъема УГВ не наблюдалось выше отметки 180 см. После продолжительного перерыва наблюдений с 1990 по 2011 гг., УГВ обнаруживался гораздо ближе к поверхности (не ниже 150-200 см) и все чаще стал фиксироваться на глубине 40-50 см. (2013, 2015, 2018, 2019 гг.) Весенний подъем грунтовых вод носил ежегодный характер, но в разные годы уровень находился на различной глубине.



**Рисунок 3.** Динамика уровня грунтовых вод на исследованном участке в Чулымском районе НСО.

В результате подъема уровня грунтовых вод в 2013 г. зафиксировано насыщение почвенного поглощающего комплекса обменным натрием, продолжающееся в последующие несколько лет (рис. 4).



**Рисунок 4.** Содержание обменного натрия в мелиорированном солонце (в слоях 0-20 и 20-40 см) в Чулымском районе НСО, (n = 3).

Исследователями установлено, что насыщение почвенного поглощающего комплекса (ППК) почв гидроморфного ряда (лугово-черноземных, черноземно-луговых и луговых) обменным



натрием в количестве 3,0 смоль(экв)/кг приводит к началу формирования солонцового горизонта (Семендяева, Добротворская, 2005). Из полученных данных видно, что накопление обменного натрия в ППК в слоях почвы 0-20 и 20-40 см после 2013 г. происходило постепенно, в течение нескольких последующих лет, но уже в 2013 г. превышено пороговое значение 3,0 смоль(экв)/кг, что указывает на развитие солонцового процесса почвообразования.

При исследовании морфологического строения профиля химически мелиорированного солонца, подвергшегося вторичному засолению минерализованными грунтовыми водами (степень минерализации 2,6 г/л) не обнаружено восстановления иллювиального горизонта (рис. 5).



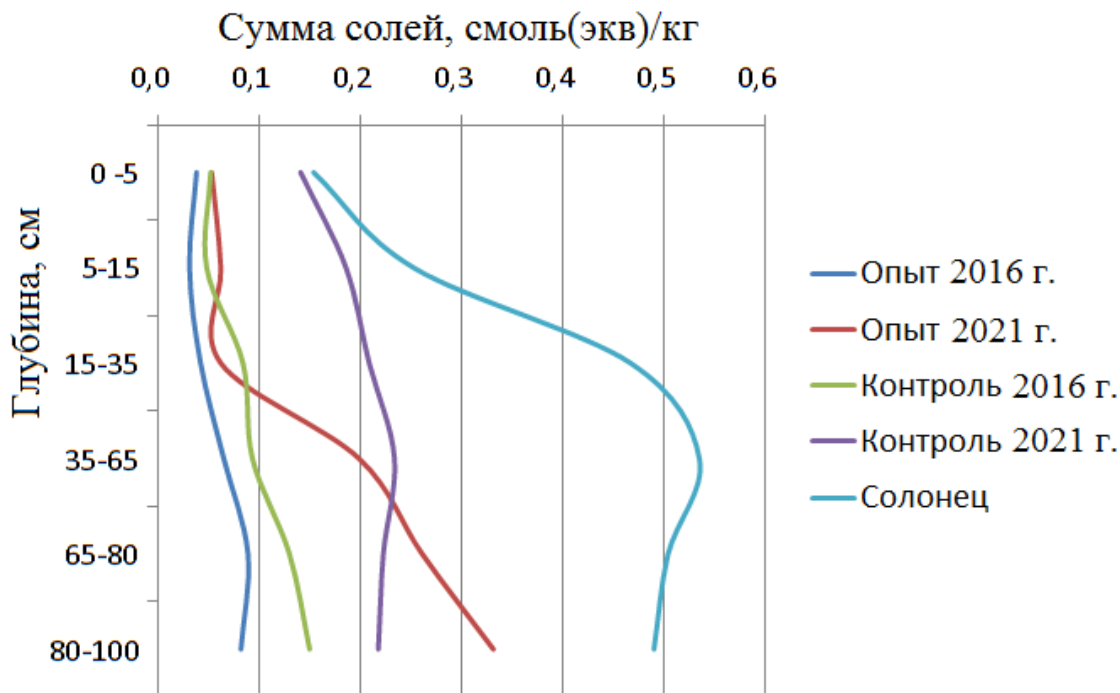
**Рисунок 5.** Профиль солонца коркового мелиорированного химической мелиорацией (Чулымский район НСО) 2012 г. (1) и 2019 г. (2), солонца мелкого мелиорированного агробиологическим методом (Чановский район НСО) (3) и контроль (вечный пар) 2021 г. (4).

При исследовании морфологического строения солонца обрабатываемого по типу вечного пара (контроль) в Чановском районе НСО наблюдались признаки солонцового горизонта на

глубине 10-26 см (рис. 5). Следовательно, разрушенный при проведении агротехнических операций солонцовый горизонт восстановился.

Уровень грунтовых вод второго участка при закладке опыта находился на уровне 410 см, в августе 2016 г. и сентябре 2021 г. – на уровне 260 и 240 см, соответственно. Степень минерализации грунтовых вод изменилась от слабой в 1985 г. до средней в 2016 г. Таким образом, произошел подъем грунтовых вод вместе с увеличением их минерализации.

Под действием агробиологической мелиорации снизилось содержание солей по всему метровому профилю (рис. 6), однако к 2021 г. запасы солей выросли в опыте на глубине 35 см и ниже, а в контроле по всему метровому профилю.



**Рисунок 6.** Распределение запасов солей в профиле почв, мелиорированных агробиологическим методом.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Барабинская низменность представляет собой слабо дренированную водно-аккумулятивную равнину, часть территории которой не имеет стока. Поэтому в условиях увеличения увлажненности происходит перенос солей по территории вместе с увеличением гидроморфизма и развитием осолонцевания и засоления почв.

Для вовлечения в сельскохозяйственный оборот солонцов широко применяли химическую мелиорацию – прием дорогостоящий, но эффективный (Семендяева и др., 2017). Профиль солонцов рассолялся, обменный натрий из почвенного поглощающего комплекса замещался кальцием мелиоранта, что приводило к улучшению физических и физико-химических свойств почвы. При этом сульфат натрия, образующийся в результате обменных реакций, мигрировал в грунтовые воды. Из-за слабой дренированности Барабинской низменности, бессточности части территории, боковой внутрипочвенный сток выражен очень слабо. Соли натрия постепенно аккумулировались в грунтовых водах и почвообразующей породе. В условиях периодического подъема уровня грунтовых вод в избыточно влажные периоды происходило вторичное засоление и осолонцевание профиля почв. На опытном участке, расположенном в Чулымском районе НСО, зафиксировано длительное действие одноразового внесения гипса в солонцы корковые более 30 лет, до 2013 г. После 2013 г. мелиоративный эффект гипсования стал уступать влиянию минерализованных грунтовых вод, происходило накопление обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе, начал развиваться процесс вторичного осолонцевания мелиорированных солонцов.

При переходе к рыночной экономике и сокращению государственного финансирования агропромышленного комплекса встал вопрос о снижении затрат на мелиорацию земель, в т.ч. солонцов. Специалистами СибНИИ кормов СФНЦА РАН был разработан менее затратный

агробиологический метод мелиорации, основанный на послойной обработке почвы с посевом засухо-соле-солонцеустойчивых однолетних и многолетних кормовых трав, которые к тому же способны выносить соли натрия в процессе жизнедеятельности, рассоляя профиль почв (Ломова, Коробова, 2015). На опытном участке в Чановском районе НСО зафиксировано положительное действие агробиологической мелиорации на профиль мелких и средних солонцов. При повышении уровня грунтовых вод с 410 см до 240-250 см происходило накопление солей как в нижней части профиля мелиорированного солонца, так и в контроле (вечный пар), однако в верхней части профиля в контроле накопление солей произошло сильнее, чем в варианте с посевом культур – фитомелиорантов, кроме того при вскрытии профиля в контроле обнаружено восстановление солонцового горизонта.

Таким образом, на обоих участках в последнее десятилетие наблюдается подъем грунтовых вод, который приводит к вторичному засолению и осолонцеванию мелиорированных почв. Химическая мелиорация не только улучшила свойства почвы, но и показала высокую устойчивость своего действия при вторичном засолении профиля грунтовыми водами. В солонцах, мелиорированных агробиологическим методом, установлено постепенное засоление нижней части профиля, но меньшее, чем в контрольном варианте.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН (проект № 121031700316-9) и при поддержке РФФИ (грант № 21-55-75002).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анопченко Л.Ю., Якутин М.В. Изменение соотношения площадей засоленных и незасоленных почв в процессе обсыхания Барабинской равнины // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2013. Т. 4. № 2. С. 160–165.
2. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Москва: Издательство стандартов. 1985. 8 с.
3. ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. Москва: Издательство стандартов. 1985. 4 с.
4. Днепровская В.П., Яценко И.Г. Исследование взаимосвязи климатического состояния и пространственной структуры растительного покрова Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. Т. 31. № 1. С. 63–68. DOI: 10.15372/AOO20180110
5. Добротворская Н.И., Елизаров Н.В., Иванова М.И. Агроэкологическая оценка земель засоленных агроландшафтов Барабы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2019. № 6 (80). С. 11–15.
6. Елизаров Н.В. *Влияние длительного действия гипса на свойства солонцов Барабинской низменности*. Дисс. ... к.б.н. Новосибирск, 2015. 127 с.
7. Елизаров Н.В., Попов В.В., Семендяева Н.В. Современный гидроморфизм солонцов лесостепной зоны Западной Сибири // *Почвоведение*. 2020. № 12. С. 1451–1459. DOI: 10.31857/S0032180X20120059
8. Кирейчева Л.В., Белова И.В., Глистин М.В., Устинов М.Т., Хохлова О.Б., Юрченко И.Ф., Яшин В.М. *Эколого-экономическая эффективность комплексных мелиораций Барабинской низменности*. М.: ВНИИА, 2009. 312 с.
9. Левина Т.П., Орлова Л.А. Климатические ритмы голоцена юга Западной Сибири // *Геология и геофизика*. 1993. Т. 34. № 3. С. 38–55.
10. Ломова Т.Г., Коробова Л.Н. Фитомелиоративное окультуривание солонцов Барабы и его влияние на биологическую активность почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2015. № 1. С. 12–18.
11. Семендяева Н.В., Добротворская Н.В. *Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири*. Новосибирск: Сибирское отделение Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005. 156 с.
12. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В., Галеева Л.П., Коробова Л.Н. *Длительность действия химической мелиорации на свойства солонцов Барабинской равнины*. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. 190 с.
13. Krivonogov S., Kazansky A., Khazin L., Lui Zh., Rudaya N., Zhilich S., Zhdanova A. *Environmental history of Lake Chany, southern Western Siberia*. Abstract for the XIX INQUA Congress «Quaternary Perspectives on Climate Change, Natural Hazards and Civilization» (26 July - 2 August, 2015), Nagoya, 2015.
14. Riedel F., Kossler A., Tarasov P., Wünnemann B. A study on Holocene foraminifera from the Aral Sea and West Siberian lakes and its implication for migration pathways // *Quaternary International*, 2011, Vol. 229, Iss. 1–2. p. 105–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.03.009>
15. Song M., Zhilich S., Krivonogov S., Liu Zh. *Biomarker-based reconstructions of climatic changes from the Yarkov Basin of Lake Chany, south Western Siberia, during the middle to late Holocene*. Abstract for the 13th International Paleolimnology Symposium (August 4-7, 2015), Lanzhou, Lanzhou University, 2015, p. 122–123.



16. Zhilich S., Krivonogov S., Rudaya N. *Climate and vegetation changes in the forest-steppe zone of Western Siberia during the Holocene inferred from the sediments of Lake Bolshie Toroki*. Abstract for the 11 East Eurasia International Workshop “Present Earth surface processes and long-term environmental changes in East Eurasia” (13-17 October 2014), Nanjing–Hanzhou, 2014, p. 58–60.
17. Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S. *The Holocene environmental changes in the arid and semiarid regions of West Siberia inferred from lake sediments*. Abstract for the 13th International Paleolimnology Symposium (August 4-7, 2015), Lanzhou, 2015, p. 62–63.

Поступила в редакцию 31.10.2022

Принята 01.12.2022

Опубликована 07.12.2022

**Сведения об авторах:**

**Елизаров Николай Владимирович** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН.; [elizarov@issa-siberia.ru](mailto:elizarov@issa-siberia.ru)

**Попов Владимир Викторович** – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); [popov@issa-siberia.ru](mailto:popov@issa-siberia.ru)

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

**INFLUENCE OF GROUNDWATER LEVEL FLUCTUATION ON THE MELIORATED SOLONETZ IN THE NORTHERN FOREST-STEPPE OF THE BARABA LOWLAND**

© 2022 Elizarov N.V. , Popov V.V. 

*Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: [elizarov@issa-siberia.ru](mailto:elizarov@issa-siberia.ru)*

**The purpose of the study:** *to determine groundwater level and chemistry and their influence on soil properties.*

**Location and time of the study.** *Northern forest-steppe of the Baraba lowland (Chulymsky and Chanovsky districts of the Novosibirsk region, Russia), 2011–2021.*

**Methods.** *Determination of the groundwater level and subsequent collecting groundwater samples from the temporary wells in the experimental areas (with chemical melioration by applying gypsum and agrobiological melioration by destroying the solonetz horizon and sowing salt-resistant crops). Under laboratory conditions, soil and groundwater chemical properties and the cation-anion composition of the water extract of soils were measured.*

**Main results.** *Changes in the standing level of soils and their mineralization were revealed. The rise in the groundwater level resulted in the accumulation of easily soluble salts the soil profile, the saturation of the soil-absorbing complex with exchangeable sodium, and the restoration of the solonetzic horizon. In medium-deep and shallow solonetz, reclaimed by the agrobiological method, the groundwater level was located at 240-250 cm in 2021, and salinization occurred only in the lower part of the profile (35-100 cm), while in the control variant, salinization occurred along the entire 1m profile.*

**Conclusion.** *In most of the Baraba Lowland, the capillary fringe of groundwater is constantly or periodically present in a soil profile. Under conditions of increased moisture in the territory, the development of degradation processes, such as soil secondary salinization and solonetzization, is diagnosed. In chemically reclaimed crusty solonetz, with periodical groundwater rise to the 50 cm depth, the ameliorative effect had been maintained for more than 30 years, after which there took place a gradual secondary salinization of the soil profile and the accumulation of exchangeable sodium in the soil absorbing complex. Over the last decade both meliorated areas saw the groundwater table rise, bringing soil secondary salinization and solonetzization. Chemical melioration proved its efficacy in not only improving soil properties, but in sustaining it under soil secondary salinization by groundwater. Agrobiological approach to solonetz melioration can also be considered perspective for slowing soil quality deterioration and sustaining soil fertility.*



**Key words:** groundwater; soil absorbing complex; alkalization; salinization; Baraba lowland; West Siberia

**How to cite:** Elizarov N.V., Popov V.V. Influence of groundwater level fluctuation on meliorated salontz in the northern forest-steppe of the Baraba lowland // *The Journal of Soils and Environment*. 2022. 5(4). e190. DOI: 10.31251/pos.v5i4.190 (in Russian with English abstract).

## REFERENCES

1. Anopchenko L.Yu., Yakutin M.V. Change of a parity of the areas of the salted and not salted soils during the drying process Barabinsk plain, *Interexpo Geo-Siberia, 2013, Vol. 4, No. 2, p. 160–165*. (in Russian)
2. GOST 26423-85. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract. Moscow: Standards Publishing House, 1985, 8 p. (in Russian)
3. GOST 26428-85. Soils. Methods for determination of calcium and magnesium in water extract. Moscow: Standard Publishing House, 1985, 4 p. (in Russian)
4. Dneprovskaya V.P., Yashchenk I.G. Relationships between climate conditions and spatial structure of vegetation in Western Siberia, *Optika atmosfery i okeana, 2018, Vol. 31, No. 1, p. 63–68*. DOI: 10.15372/AOO20180110. (in Russian)
5. Dobrotvorskaya N.I., Elizarov N.V., Ivanova M.I. Agroecological evaluation of saline lands of the Baraba agrolandscapes, *Izvestia Orenburg State Agrarian University, 2019, No. 6 (80), p. 11–15*. (in Russian)
6. Elizarov N.V. *Influence of long-term action of gypsum on the properties of solonetztes of the Baraba plan*. Diss. Cand. of Biol. Sci. Novosibirsk, 2015, 127 p. (in Russian)
7. Elizarov N.V., Popov V.V., Semendyaeva N.V. Modern hydromorphism of solonetztes in the forest-steppe zone of Western Siberia, *Eurasian Soil Science, 2020, Vol. 53, No. 12, p. 1701–1708*. DOI: 10.1134/S1064229320120054
8. Kireycheva L.V., Belova I.V., Glistin M.V., Ustinov M.T., Khokhlova O.B., Yurchenko I.F., Yashin V.M. *Ecological and economic efficiency of complex melioration of the Baraba lowland*. M.: VNIIA, 2009, 312 p. (in Russian)
9. Levina T.P., Orlova L.A. Climatic rhythms of the Holocene in the south of Western Siberia, *Geologiya i geofizika, 1993, Vol. 34, No. 3, p. 38–55*. (in Russian)
10. Lomova T.G., Korobova L.N. Phyto-reclamation domestication of solonetz soils of Baraba and its effect on the biological activity of soil, *Siberian Herald of Agricultural Science, 2015, No. 1, p. 12–18*. (in Russian)
11. Semendyaeva N.V., Dobrotvorskaya N.V. *Theoretical and practical aspects of chemical reclamation of solonetztes in Western Siberia*. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2005, 156 p. (in Russian)
12. Semendyaeva N.V., Elizarov N.V., Galeeva L.P., Korobova L.N. *The duration of the effect of chemical reclamation on the properties of solonetztes of the Baraba plain*. Novosibirsk: Information Center of NSAU "Zolotoy kolos", 2017, 190 p. (in Russian)
13. Krivonogov S., Kazansky A., Khazin L., Lui Zh., Rudaya N., Zhilich S., Zhdanova A. *Environmental history of Lake Chany, southern Western Siberia*. Abstract for the XIX INQUA Congress «Quaternary Perspectives on Climate Change, Natural Hazards and Civilization» (26 July - 2 August, 2015), Nagoya, 2015.
14. Riedel F., Kossler A., Tarasov P., Winnemann B. A study on Holocene foraminifera from the Aral Sea and West Siberian lakes and its implication for migration pathways? *Quaternary International, 2011, Vol. 229, Iss. 1–2, p. 105–111*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.03.009>
15. Song M., Zhilich S., Krivonogov S., Liu Zh. *Biomarker-based reconstructions of climatic changes from the Yarkov Basin of Lake Chany, south Western Siberia, during the middle to late Holocene*. Abstract for the 13th International Paleolimnology Symposium (August 4-7, 2015), Lanzhou, Lanzhou University, 2015, p. 122–123.
16. Zhilich S., Krivonogov S., Rudaya N. *Climate and vegetation changes in the forest-steppe zone of Western Siberia during the Holocene inferred from the sediments of Lake Bolshie Toroki*. Abstract for the 11 East Eurasia International Workshop “Present Earth surface processes and long-term environmental changes in East Eurasia” (13-17 October 2014), Nanjing–Hanzhou, 2014, p. 58–60.
17. Zhilich S., Rudaya N., Krivonogov S. *The Holocene environmental changes in the arid and semiarid regions of West Siberia inferred from lake sediments*. Abstract for the 13th International Paleolimnology Symposium (August 4-7, 2015), Lanzhou, 2015, p. 62–63.

Received 31 October 2022  
Accepted 01 December 2022  
Published 07 December 2022

### About the authors:

**Elizarov Nikolay Vladimirovich** – Candidate of Biological Sciences, Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [elizarov@issa-siberia.ru](mailto:elizarov@issa-siberia.ru)

**Popov Vladimir Viktorovich** – Candidate of Biological Sciences, Junior Researcher in the Laboratory of Soil Geography and Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); [popov@issa-siberia.ru](mailto:popov@issa-siberia.ru)

*The authors read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)