УДК 631.48:551.583
DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-19-46

Ссылки для цитирования:
Панкова Е.И., Черноусенко Г.И. Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 19-46. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-19-46
Cite this article as:
Pankova E.I., Chernousenko G.I., The problem of salinization activation in soils of the south of Eastern Siberia and Mongolia in connection with climate aridization, Dokuchaev Soil Bulletin, 2020, V. 101, pp. 19-46, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-101-19-46

Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата

© 2020 г. Е. И. Панкова, Г. И. Черноусенко*

[1]*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,*
https://orcid.org/0000-0001-6367-5839, e-mail:chergi@mail.ru.

Поступила в редакцию 30.01.2020, *после доработки* 11.02.2020, *принята к публикации* 04.03.2020

Резюме: В работе рассмотрено влияние климатических изменений, связанных с аридизацией, на засоленность почв в котловинах юга Восточной Сибири и Монголии. Проанализированы данные, характеризующие аридность климата котловин юга Восточной Сибири за 50 лет. На юге Восточной Сибири с 1955 г. по 2015 г. рост температуры воздуха был выше, чем по миру в целом. В котловинах Тувы рост температуры воздуха составил 2.5–3.7 °С; в Минусинской котловине – 1.7–2.8 °С, в котловинах Бурятии – 1.5–1.8 °С; коэффициент детерминации для скользящих средних за 20 лет (R^2) составил 0.9–0.95, изменения достоверны – критерий Стьюдента 19–35. Изменения коэффициента аридности были в пределах 0.02–0.14, согласно критерию Стьюдента они достоверны (t = 7.4– -22), при этом в Минусинской котловине наблюдалось снижение аридизации, а в остальных регионах – ее рост. Таким образом, в целом для изучаемых регионов констатирована разнонаправленность процессов аридизации климата. В Минусинской котловине, несмотря на некоторое понижение аридизации, изменения

категории (по классификации Лобовой и др. (1977)) за этот период не произошло, территория осталась в категории аридной и субаридной. Несмотря на рост аридизации климата в котловинах Тувы и Бурятии, в большинстве из них также не отмечен переход в другую более аридную категорию. Тем не менее в ряде котловин юга Восточной Сибири констатирован рост аридизации с переходом в более аридную категорию. Это относится к Еравненской и Баргузинской котловинам Бурятии, перешедших из слабо аридных в субаридные, а также к Убсунурской котловине Тувы, которая из аридной перешла в сильно аридную. Для котловин юга Восточной Сибири, где зафиксирована аридизация климата, возник вопрос о возможной активизации процесса засоления почв. Для решения этой проблемы были привлечены материалы по засоленности почв аридных регионов Монголии. Было установлено, что повышение аридности климата даже в крайнеаридных пустынях Гоби, где почвообразующие породы не засолены, в автоморфных условиях почвы практически не засолены (сумма солей не превышает 0.1%). В районах распространения засоленных мел-палеогеновых красноцветных отложений автоморфные почвы засолены, при этом сумма солей может превышать 2.5%. Таким образом, в крайнеаридных климатических условиях засоление автоморфных почв может колебаться от незасоленных до сильно засоленных. В гидроморфных условиях котловин юга Восточной Сибири, так же, как и в Монголии, аридизация климата неизбежно приводит к активизации процесса соленакопления, поэтому в котловинах Тувы и Бурятии, испытывающих аридизацию климата, следует ожидать процесса засоления почв в гидроморфных ландшафтах.

Ключевые слова: изменение климата, индекс аридности, засоление автоморфных и гидроморфных почв, Хакасия, юг Красноярского края, Тува, Бурятия, Монголия.

The problem of salinization activation in soils of the south of Eastern Siberia and Mongolia in connection with climate aridization

E. I. Pankova, G. I. Chernousenko*

[1]*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,*
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 2119017, Russian Federation,
https://orcid.org/0000-0001-6367-5839, e-mail: chergi@mail.ru.

Received 30.01.2020, *Revised* 11.02.2020, *Accepted* 04.03.2020

Abstract: The influence of climate aridization on soil salinity in the basins of the south of Eastern Siberia and Mongolia is considered in the article. The data characterizing the climate aridity of the basins of the south of Eastern Siberia over 50 years are analyzed. In the south of Eastern Siberia from 1955 to 2015, the increase in air temperature was higher than in the whole world. In the basins of Tuva, the increase in air temperature was 2.5–3.7 ^{o}C; in the Minusinsk depression – 1.7–2.8 ^{o}C, in the basins of Buryatia – 1.5–1.8 ^{o}C; the coefficient of determination for moving averages over 20 years (R^2) was 0.9–0.95, the changes are significant – Student's criterion 19–35. Changes in the aridity coefficient were in the range of 0.02–0.14; according to the Student criterion, they were significant (t = 7.4 – -22), while a decrease in aridization was observed in the Minusinsk depression and its growth in other regions. Thus, in general, for the studied regions, the multidirectionality of the processes of climate aridization has been ascertained. In the Minusinsk depression, despite a slight decrease in aridization, category changes (according to the classification of Lobova et al., 1977) did not occur during this period, the territory remained in the arid and subarid categories. Despite the increase in climate aridization in the basins of Tuva and Buryatia, most of them also did not show a tendency to more arid category. Nevertheless, in a number of hollows in the south of Eastern Siberia, an increase in aridization with a transition to a more arid category was observed. This applies to the Eravnensky and Barguzinsky basins of Buryatia, which switched from weakly arid to subarid, as well as to the Ubsunur basin of Tuva, which turned from arid to strongly arid. For the basins of the south of Eastern Siberia, where climate aridization was recorded, the question arose about the possible activation of the process of soil salinization. To solve this problem, materials were collected on soil salinity in the arid regions of Mongolia. It was found that an increase in climate aridity even in the extreme arid deserts of the Gobi, where parent rocks are not saline, under automorphic conditions, the soil is practically not saline (the amount of salts does not exceed 0.1%). In areas where saline Cretaceous-Paleogene red sediments are spread, automorphic soils are saline, and the amount of salts may exceed 2.5%. Thus, in extremely arid climatic conditions, salinization of automorphic soils can range from non-saline to highly saline. Under the hydromorphic conditions of the basins of the south of Eastern Siberia, as well as in Mongolia, climate aridization inevitably leads to an intensification of the salt accumulation process, therefore, in the basins of Tuva and Buryatia experiencing climate aridization, a process of soil salinization in hydromorphic landscapes should be expected.

Keywords: climate change, aridity index, salinization of automorphic and hydromorphic soils, Khakassia, south of the Krasnoyarsk Territory, Tuva, Buryatia, Mongolia.

ВВЕДЕНИЕ

В последние десятилетия в мире широко обсуждается проблема аридизации климата и процесса опустынивания, а также их последствия, вызывающие деградацию земель, в частности, связанную с усилением засоления почв в аридных и семиаридных регионах (Конвенция ООН…, 1994; Ковда, 1980; Зонн, 1997; Розанов, 1992; Залибеков, 2011; Behnke, 2012; Climate and Land Degradation, 2005; Dregne, 2002; Geist, 2005; Le Hou´erou, 1996 и др.). Разрабатываются десятки возможных сценариев развития климата на планете (IPCC, 2001; Mitchell et al., 2004).

По данным А.Н. Золотокрылина (2005), анализирующего климатические условия на равнинах Центральной Азии, “характерной особенностью климатических изменений указанного региона является одновременное уменьшение осадков в одном регионе и увеличение в другом”. Автор приходит к выводу, что изменение регионального климата в Центральной Азии колеблется согласно специфике субрегионов, и потому нет оснований предполагать, что тенденция аридизации будет распространяться по всей территории в течение следующих десятилетий. В другой работе (Золотокрылин и др., 2007) говорится о том, что “нет основания утверждать о систематическом расширении аридизации и усилении ее интенсивности на территории Монголии”, хотя в отдельных регионах Центральной Азии она локально проявляется. Это подтверждают и данные других публикаций (Национальный доклад…, 2019).

Ранее авторами были подробно изучены климатические особенности территории и гранулометрический состав автоморфных почв сухостепной зоны юга Восточной Сибири и их влияние на своеобразие почв региона (Рухович и др., 2019). Было установлено, что здесь господствуют почвы легкого гранулометрического состава, редко засоленные в автоморфных ландшафтах (Панкова, Черноусенко, 2018; Черноусенко, Курбатская, 2017).

Цель данной статьи – рассмотрение проблемы, связанной с изменением климата в степных, сухостепных и пустынных регионах юга Восточной Сибири и Монголии, и выявление возможного влияния этого процесса на засоленность почв данных регионов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для решения этой проблемы на территорию юга Восточной Сибири в местах распространения засоленных почв были собраны и проанализированы материалы, характеризующие климатические показатели за последние 50–60 лет по 11 метеостанциям, расположенным в 8 межгорных котловинах (Минусинская, Улугхемская, Убсунурская, Каргынская, Баргузинская, Тункинская, Еравненская, Удинская) и на юге Бурятии в Селенгинском среднегорье (Кяхта). Расположение метеостанций и их синоптические индексы (пятизначный уникальный цифровой индивидуальный идентификатор метеостанции, утверждаемый Всемирной Метеорологической Организацией (№ ВМО)) показаны на рисунке 1. Все метеостанции расположены в районах, на территории которых распространены засоленные почвы.

Анализировались следующие климатические показатели: среднегодовая температура воздуха, испаряемость, суммарное годовое количество осадков, коэффициент увлажнения и континентальность климата (Черноусенко, Хитров, 2019). В данной работе дополнительно был рассчитан и проанализирован коэффициент (индекс) аридности климата, позволяющий оценить направленность процесса аридизации в котловинах юга Восточной Сибири, а также установить, как этот процесс будет сказываться на засолении почв этих регионов. Индекс аридности рассчитывался по формуле: $IA=\Sigma P_{1\text{-}12} / (5.12 \cdot \Sigma t_{4\text{-}10} + 306)$ (Мезенцев, Карнацевич, 1969). Где IA – индекс аридности, $\Sigma P_{1\text{-}12}$ –сумма осадков за год в мм, $\Sigma t_{4\text{-}10}$ – сумма среднемесячных температур теплого периода (апрель – октябрь). Расчет по этой формуле приведен по нескольким причинам. Используемые для расчетов данные есть на всех метеостанциях, в отличие от данных по эвапотранспирации, которые используются в расчетах западных исследователей (UNESCO, 1977; Le Hou´erou, 1996; Trabucco, Zomer, 2009; https://csidotinfo.files.wordpress.com/2019/01/global-aridity-and-global-pet-methodology.pdf).

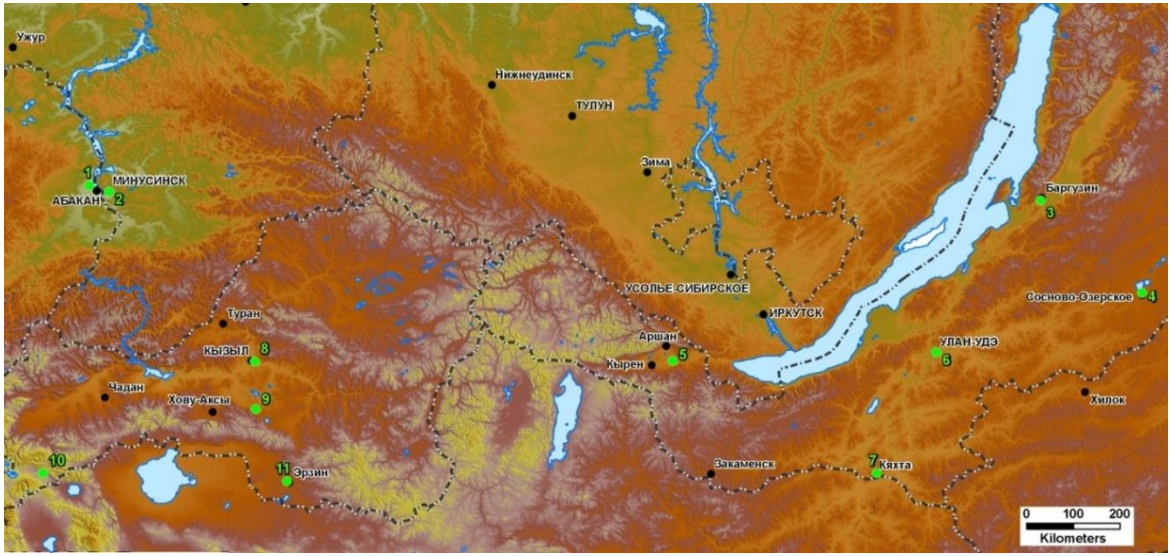

Рис. 1. Расположение метеостанций юга Восточной Сибири, данные которых были использованы в работе. 1 – № 29862 Абакан; 2 – № 29866 Минусинск; 3 – № 30636 Баргузин; 4 – № 30745 Сосново-Озерское; 5 – № 30811 Тунка; 6 – № 30823 Улан-Удэ; 7 – № 30925 Кяхта; 8 –№ 36096 Кызыл; 9 – № 36099 Сосновка; 10 – № 36278 Мугур-Аксы; 11 – № 36307 Эрзин.

Fig. 1. Location of weather stations in the south of Eastern Siberia, the data of which were used in the work. 1 – No. 29862 Abakan; 2 – No. 29866 Minusinsk; 3 – No. 30636 Barguzin; 4 –No. 30745 Sosnovo-Ozerskoye; 5 – No. 30811 Tunka; 6 – No. 30823 Ulan-Ude; 7 – No. 30925 Kyakhta; 8 – No. 36096 Kyzyl; 9 – No. 36099 Sosnovka; 10 – No. 36278 Mugur-Aksy; 11 – No. 36307 Erzin.

Кроме того, расчет с использованием данных по эвапотранспирации не всегда приводит к удовлетворительным результатам, тогда как данные, полученные по формуле Мезенцева, Карнацевича (1969), разделили исследуемую территорию более логично и соответственно их ландшафтам.

Оценка степени аридности территории проводилась по классификации, предложенной Лобовой с соавт. (1977), на основе этого индекса аридности (IA): крайне аридные – < 0.16; сильно аридные – 0.16–0.30; аридные – 0.31–0.45; субаридные – 0.46–0.60; слабо аридные – 0.61–0.80; периодически аридные – 0.8–1.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климат котловин юга Восточной Сибири очень и резко континентальный. Это криоаридные территории, где среднегодовые температуры воздуха отрицательные, хотя в некоторых районах в последние годы наблюдается переход среднегодовых температур в положительные значения (Улан-Удэ, Кяхта (Бурятия)). В районах распространения засоленных почв юга Восточной Сибири наблюдается значительный (выше, чем по миру в целом) достоверный тренд увеличения среднемноголетних среднегодовых температур воздуха. Так, с 1950 г. по 2012 г. рост приповерхностной среднегодовой температуры над сушей по миру в целом составил 0.9–1.2 °С, по России он был выше – 1.2–1.4 °С (Второй оценочный доклад..., 2014). На юге Восточной Сибири с 1955 г. по 2015 г. максимальный рост температуры воздуха наблюдался в Туве – 2.5–3.7 °С; ниже в Минусинской котловине – 1.7–2.8 °С, еще ниже в Бурятии – 1.5–1.8 °С; коэффициент детерминации для скользящих средних за 20 лет (R^2) составил 0.9–0.95, критерий Стьюдента 19–35, т.е. изменения достоверны (Черноусенко, Хитров, 2019). Максимальная скорость роста температуры воздуха в Туве приближается к наибольшей скорости, отмеченной на Арктическом побережье России, где она составила более 0.7 °С за 10 лет (Второй оценочный доклад..., 2014).

Изменение суммарного годового количества осадков не имеет однозначной тенденции. В ряде котловин наблюдалось их достоверное снижение (Убсунурская, Каргынская котловины Тувы). Однако в большинстве котловин изменение осадков было не

достоверно, т. е. практически не изменилось, а в Минусинской котловине наблюдался небольшой, но достоверный тренд роста годовых осадков. Изменение испаряемости и КУ (по Высоцкому – Иванову) было разнонаправлено. Коэффициент увлажнения в ряде котловин Тувы (Убсунурская) и Бурятии (Еравненская, Удинская) снижался, в других, наоборот, возрастает (Баргузинская, Тункинская котловины Бурятии и Минусинская котловина). В остальных котловинах КУ практически не изменился (Черноусенко, Хитров, 2019). Таким образом, судя по КУ, однозначной направленности процесса аридизации климата в котловинах юга Восточной Сибири не наблюдалось. Более точно это определяется по коэффициенту аридизации, который и был нами рассчитан.

Расчет коэффициента (индекса) аридизации климата в целом подтвердил этот факт, хотя в большинстве котловин, за исключением Минусинской, наблюдалась тенденция к росту аридизации (рис. 2, 3 и 4). Как видно из рисунка 2, в Туве коэффициент аридности ($К_{ар}$) падал, что свидетельствует о росте аридизации, особенно сильном в Убсунурской (Эрзин) и Каргынской (Мугур-Аксы) котловинах юга Тувы. Изменения $К_{ар}$, согласно критерию Стьюдента, достоверны (t=-11 – -22).

Рисунок 3 демонстрирует достоверный тренд снижения аридизации в Минусинской котловине на территории Хакасии и на юге Красноярского края.

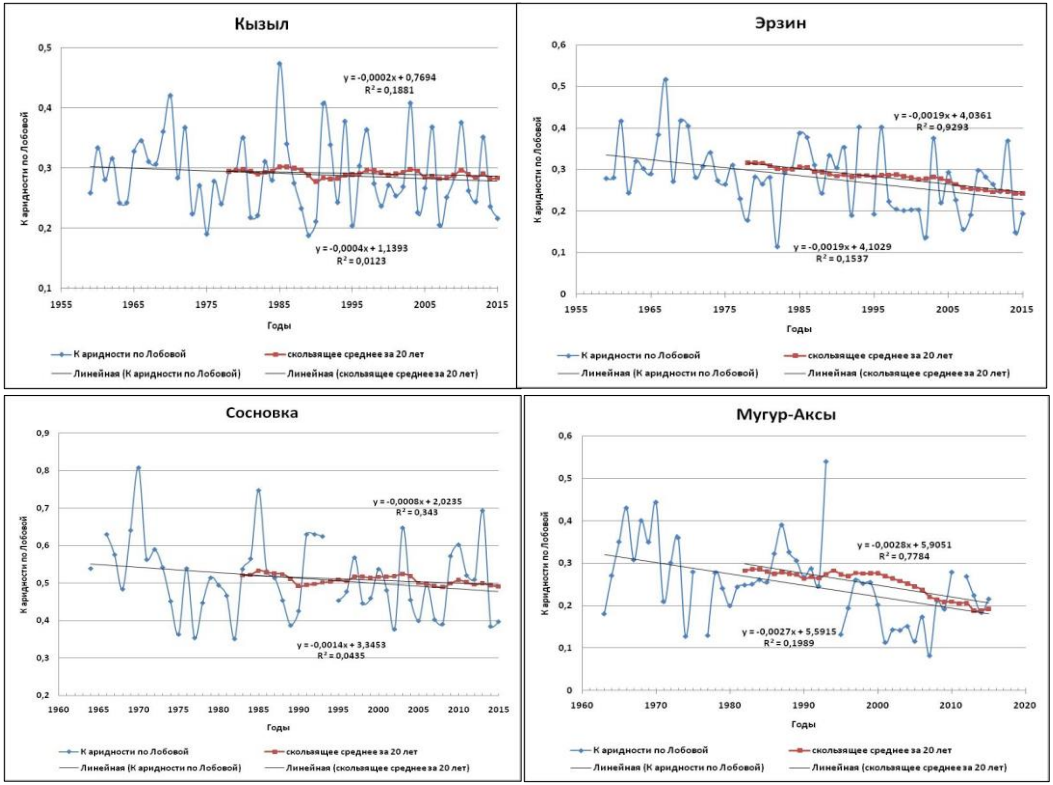

Рис. 2. Динамика коэффициента аридности и тренд скользящих среднемноголетних значений коэффициента аридности за 20 лет в разных котловинах Тувы.

Fig. 2. Dynamics of the aridity coefficient and the trend of moving average long-term values of the aridity coefficient over 20 years in different basins of Tuva.

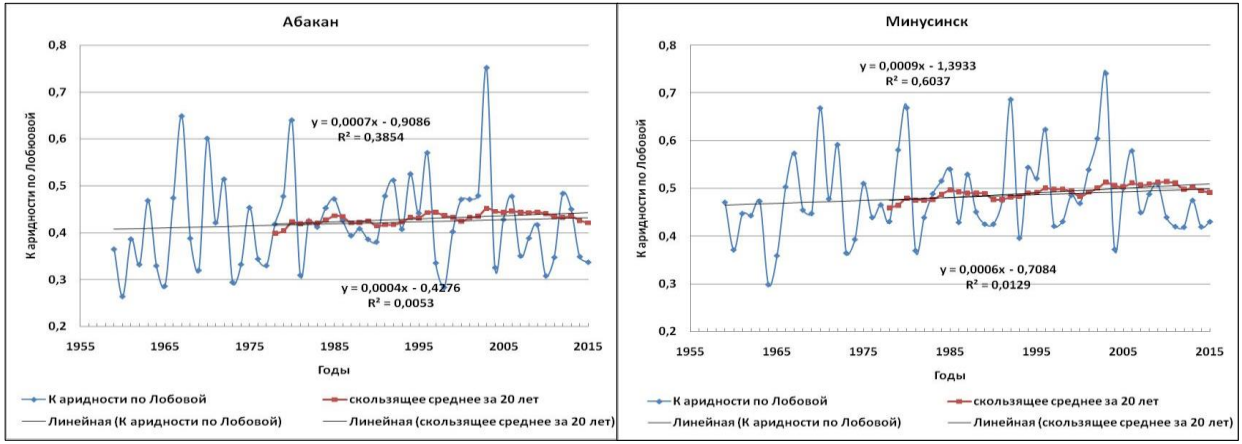

Рис. 3. Динамика коэффициента аридности и тренд скользящих среднемноголетних значений коэффициента аридности за 20 лет на юге Минусинской котловины.
Fig. 3. Dynamics of the aridity coefficient and the trend of moving average long-term values of the aridity coefficient over 20 years in the south of the Minusinsk depression.

Критерий Стьюдента (t) угла наклона регрессии составил для Минусинской котловины (t = 4.8 – 7.4 для Абакана и Минусинска соответственно), что свидетельствует об уменьшении аридности климата в этом регионе за последние 50 лет.

Изменение $К_{ар}$ в Бурятии показано на рисунке 4. За исследованный период $К_{ар}$ во всех котловинах Бурятии, кроме Тункинской, несколько снизился, что говорит о росте аридизации климата за последние 60 лет. Наиболее сильно это проявилось в Удинской котловине (Улан-Удэ). В Баргузинской и особенно в Еравненской котловине рост аридизации был не столь велик, но значения $К_{ар}$ перешли через границу диапазона (по классификации Лобовой с соавт., 1977), и эти котловины перешли в более аридную категорию к настоящему времени.

Согласно классификации, предложенной Лобовой с соавт. (1977), категория аридности имеет некоторый диапазон, поэтому, несмотря на тренд роста или снижения аридизации, в большинстве котловин за последние 50–60 лет смены категории аридности не произошло. Так, несмотря на снижение аридизации, Минусинская котловина осталась в категории аридных (центральная часть) и субаридных (наветренные предгорья). Несмотря на рост аридности, Каргынская высокогорная котловина Тувы и Улугхемская (центральная часть) остались в категории сильноаридных; Удинская (Бурятия) – аридных; Тункинская (Бурятия) – слабоаридных. Тем не менее, ряд котловин изменили категорию аридности– Еравненская и Баргузинская котловины Бурятии из слабоаридных перешли в категорию субаридных; Убсунурская – из аридной в сильноаридную.

Согласно критерию Стьюдента (t) угла наклона регрессии, увеличение степени аридности при уменьшении $К_{ар}$, достоверны (t колеблется в пределах -3 – -22).

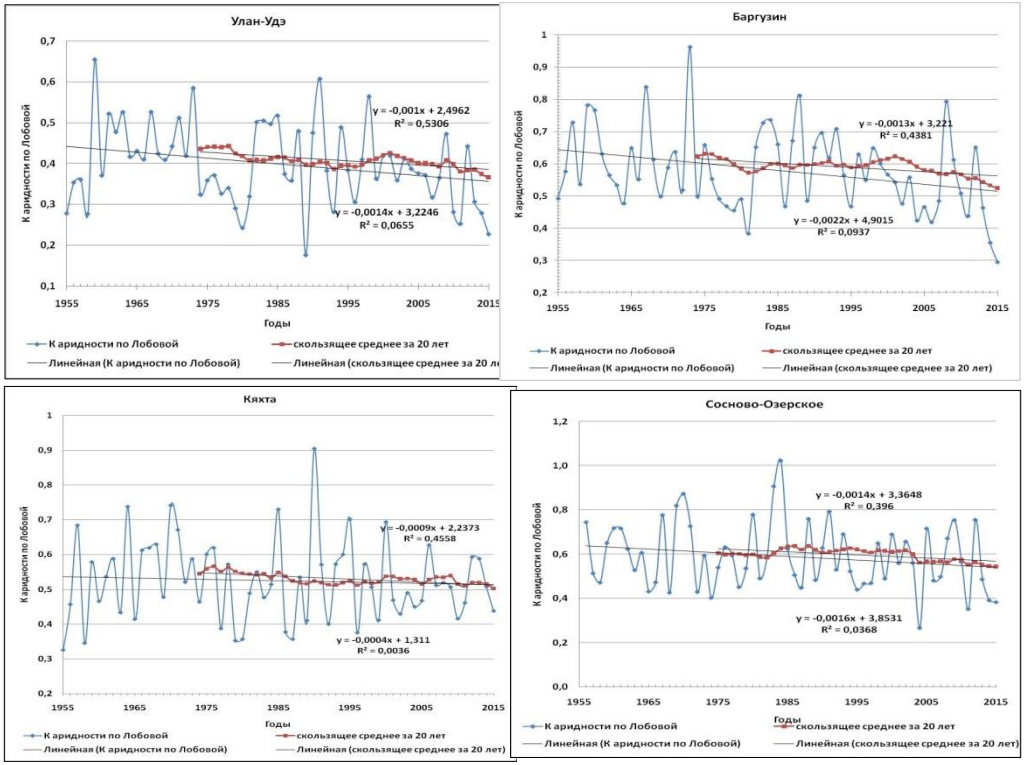

Рис. 4. Динамика коэффициента аридности и тренд скользящих среднемноголетних значений коэффициента аридности за 20 лет в разных котловинах Бурятии.

Fig. 4. Dynamics of the aridity coefficient and the trend of moving average long-term values of the aridity coefficient over 20 years in different basins of Buryatia.

Таким образом, статистическая обработка климатических параметров по данным 11 метеостанций юга Восточной Сибири показала, что однонаправленного процесса аридизации климата в котловинах этого региона не наблюдается. Этот вывод подтверждает вывод А.Н. Золотокрылина (2005) о разнонаправленности климатических изменений и в других регионах Центральной Азии.

Для того чтобы решить проблему возможной активизации процесса засоления на территории котловин юга Восточной Сибири, испытывающих аридизацию климата, авторами были привлечены материалы по семиаридным и аридным территориям Монголии, где проблема засоления и ее связь с климатическими показателями, в первую очередь с аридностью климата, была рассмотрена ранее (Панкова, 1992; Панкова, Конюшкова, 2013; Панкова, Конюшкова, 2013а; Гунин и др., 2018). Монголия рассматривалась авторами как природная модель, по которой анализировалось распространение и особенности засоления автоморфных и гидроморфных почв и климатических показателей сухих степей и пустынь Монголии.

Как показали данные исследования, площади распространения засоленных почв в аридных (пустынных), субаридных (полупустынных), а также в сухостепных зонах Монголии не связаны напрямую с климатическими показателями, характеризующими климат аридных территорий Монголии (Панкова, 1992). Было показано, что чрезвычайно высокая аридность климата не приводит к широкому развитию засоления в автоморфных пустынных и сухостепных почвах Монголии, что продемонстрировано на рисунке 5.

Как было показано ранее (Панкова, 1992; Панкова, Рубцова, 1983), небольшой процент участия засоленных почв в пустынных и сухих степях Монголии в первую очередь связан с малым распространением соленосных пород, а не с современным климатом. В Монголии формирование засоленных автоморфных почв происходит на мел-палеогеновых здасоленных породах (рис. 6, р. 225П) и практически отсутствует в почвах, формирующихся на пролювиальных незасоленных отложениях. Эта же закономерность наблюдается в котловинах юга Восточной Сибири.

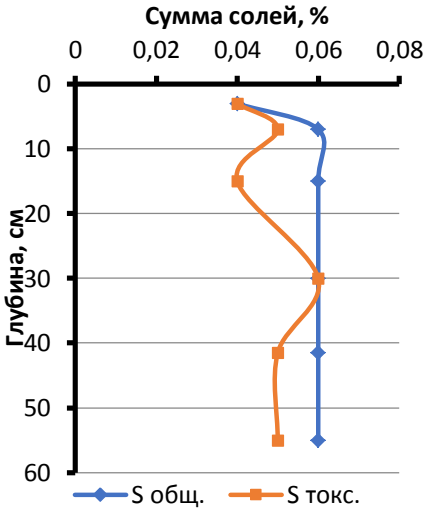

Рис. 5. Разрез 225Е. Монголия, низкая равнина Галбын-Гоби (восточная часть). Серо-бурая на аллювиально-пролювиальных отложениях (Панкова, 1992).
Fig. 5. Profile 225E. Mongolia, the low plain of Galbyn-Gobi (eastern part). Gray-brown on alluvial-proluvial deposits (Pankova, 1992).

Засоленность в автоморфных почвах аридных регионов проявляется в районах распространения девонских гипсоносных красноцветов. В качестве примера приведен солевой профиль южного чернозема, Минусинская котловина, юг Восточной Сибири (рис. 6, р. 40Х-12).

Иная картина наблюдается в почвах гидроморфных ландшафтов. Здесь процесс соленакопления напрямую связан с гидроморфизмом и аридностью климата. Изучение засоленных гидроморфных почв пустынь Монголии позволило утверждать, что они приурочены к природным оазисам, озерным котловинам и к долинам рек, а их засоленность в первую очередь определяется аридностью климата и увеличивается с ее ростом. При изучении засоления гидроморфных почв в оазисе Эйхийн-Гол в крайнеаридных пустынях Монголии авторами было зафиксировано наличие злостных солончаков, содержащих до 40–60% легкорастворимых солей в поверхностных горизонтах (рис. 7).

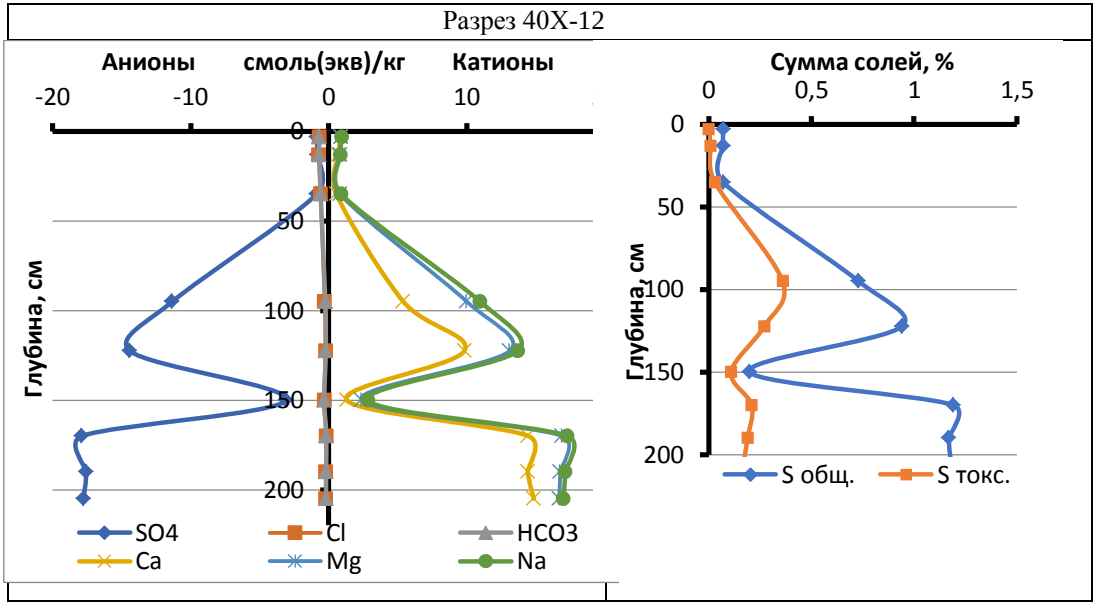

Рис. 6а. Солевые профили засоленных автоморфных почв. Разрез 40Х-12. Юг Восточной Сибири, Минусинская котловина, Хакасия. Чернозем южный солончаковый сульфатный с гипсом средней степени засоления на элювии плотных гипсов 53.522 с. ш., 90.9327 в. д., 324 м н.у.м. (Черноусенко Г.И.).

Fig. 6a. Salt profiles of saline automorphic soils. Profile 40X-12. South of Eastern Siberia, Minusinsk depression, Khakassia. Southern solonchak sulfate chernozem with gypsum of medium salinity on eluvium of dense gypsum (Chernousenko G.I.).

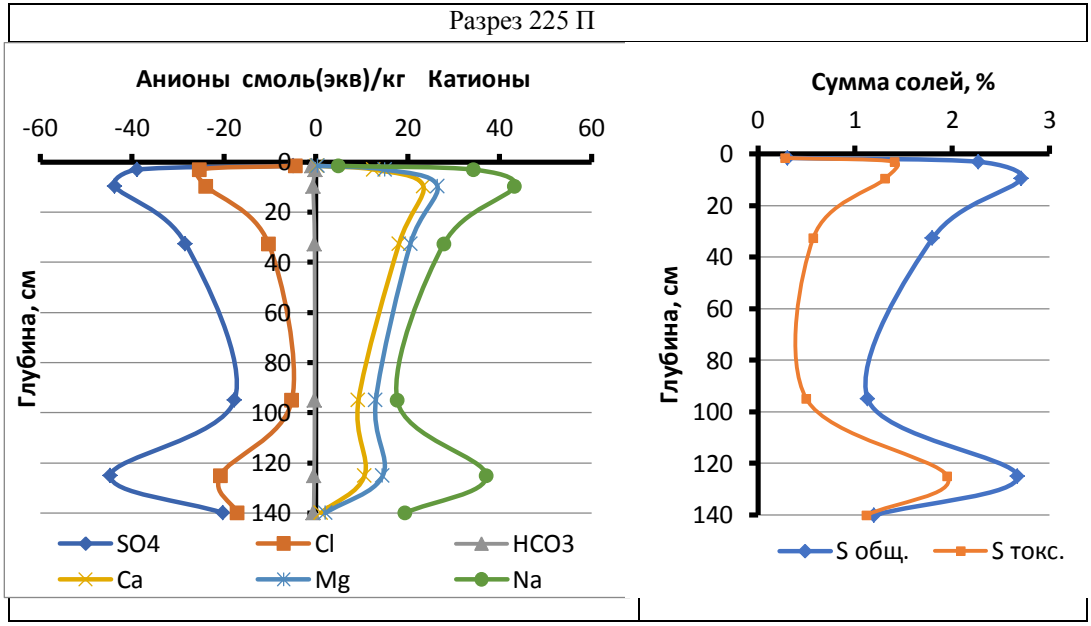

Рис. 6б. Солевые профили засоленных автоморфных почв. Разрез 225П. Монголия, Заалтайское Гоби. Древняя терраса сложенная красноцветами. Крайнеаридная на красноцветах мел-палеогеновых отложений (Панкова, 1992).

Fig. 6b. Salt profiles of saline automorphic soils. Profile 225P. Mongolia, Trans-Altai Gobi. Ancient terrace folded by red beds. Extreme arid on the red beds of the Cretaceous-Paleogene deposits (Pankova, 1992).

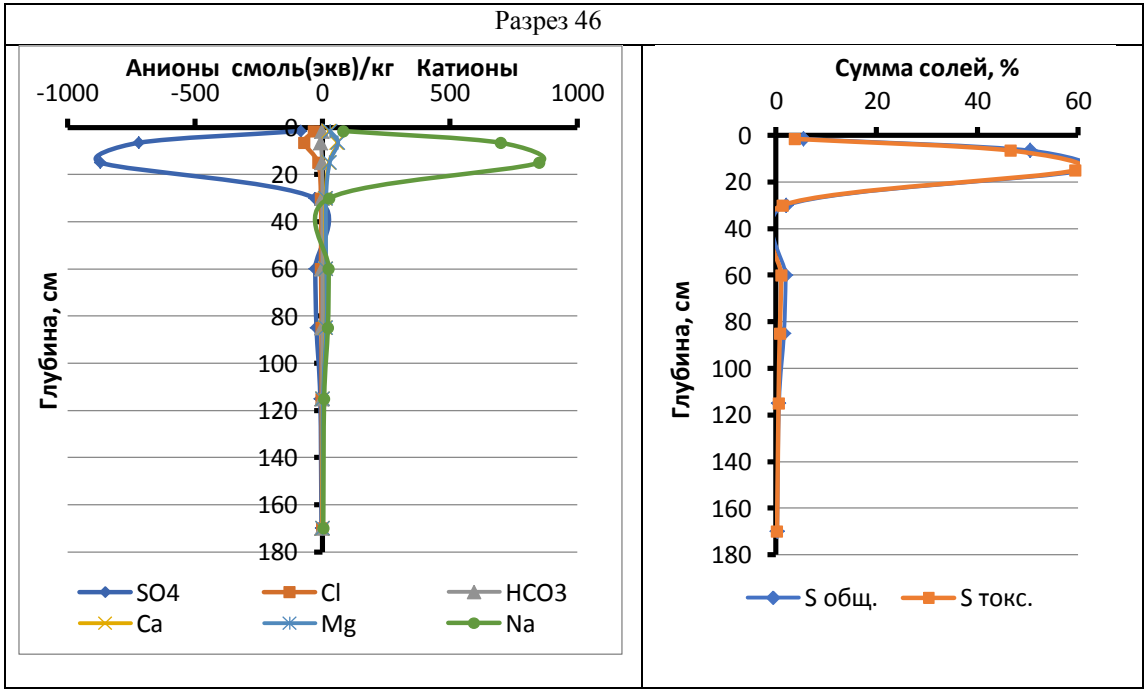

Рис. 7а. Монголия, оазис Эйхийн-Гол. Солончаки – разрез 46 (Панкова, 1992).
Fig. 7a. Mongolia, oasis Eihiyn-Gol. Solonchaks – profile 46 (Pankova, 1992).

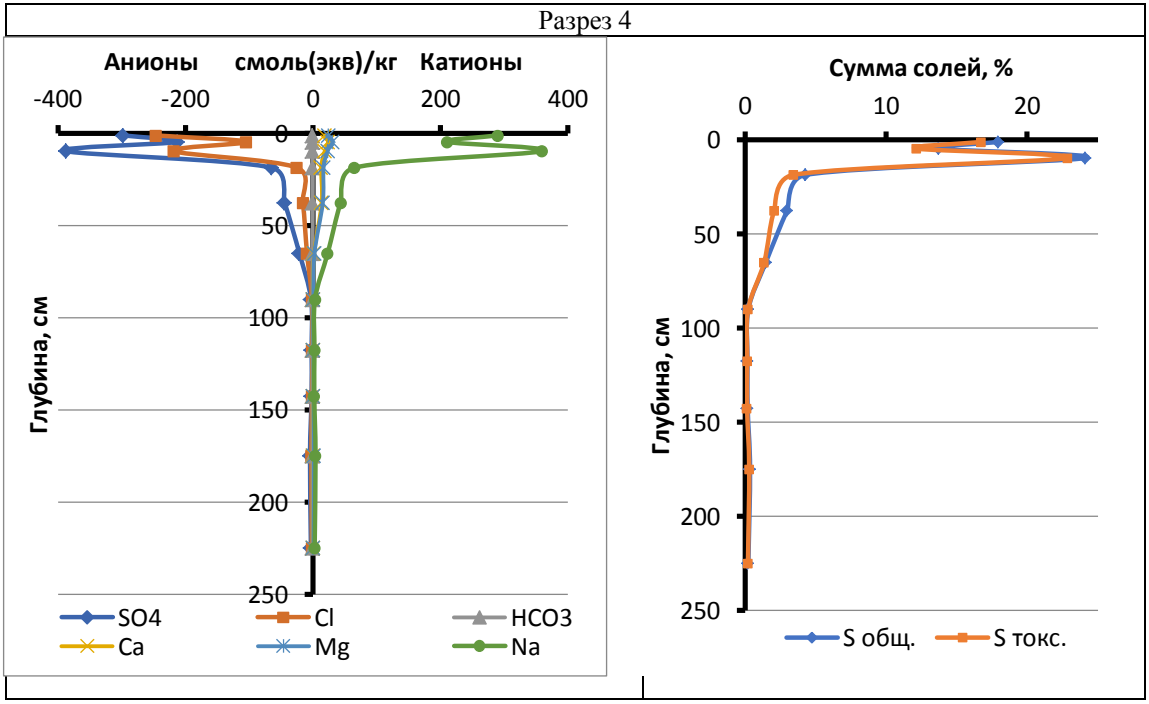

Рис. 7б. Монголия, оазис Эйхийн-Гол. Солончаки – разрез 4 (Панкова, 1992).
Fig. 7b. Mongolia, oasis Eihiyn-Gol. Solonchaks – profile 4 (Pankova, 1992).

При этом данные почвы формируются на слабоминерализованных, почти пресных грунтовых водах (Панкова и др., 2015).

Ранее для степной зоны по всей территории России был проведен сравнительный анализ распространения засоленных почв и климатических параметров по широте 53°44´ (Калинина и др., 2016). Из всех анализируемых климатических показателей наибольшая связь с наличием засоления почв выявилась с КУ Высоцкого – Иванова. Зависимость процента засоленных почв и КУ обратно пропорциональная. При этом 0.5 ≤ КУ ≤ 0.85 является необходимым, обязательным, но недостаточным условием для развития засоления, т. к. в ряде случаев при высокой дренированности даже при КУ = 0.6 засоление почв отсутствует. При КУ больше 0.85 засоление почв обычно не встречается (Калинина и др., 2016).

Таким образом, проявление процесса засоления в гидроморфных ландшафтах напрямую связано с аридностью климата и дренированностью территории, на широту распространения засоленных автоморфных почв большое влияние оказывает палеогеографические особенности региона (Панкова, 2007).

Роль континентальности климата в процессах современного соленакопления в настоящее время относительно слабо изучена. Картографический анализ, проведенный авторами ранее по широте 53°44´, показал отсутствие зависимости доли засоленных почв от коэффициента континентальности (Калинина и др., 2016). Тем не менее, очевидно, что низкие температуры в условиях аридного и континентального климата приводят к сильному промерзанию почв, трансформации солевых новообразований и подтягиванию солей к зоне промерзания. Проблема роли промерзания почв в процессах соленакопления пока недостаточно изучена.

Анализ материалов, характеризующих засоленность почв котловин юга Восточной Сибири, в целом подтверждает вышеприведенные выводы, полученные при изучении почв Монголии. Здесь также широко распространены гидроморфные засоленные почвы, которые в основном приурочены к озерным депрессиям, нередко бессточным, и долинам рек. Питание этих озер часто происходит за счет разгрузки подземных минерализованных вод (озера Хакасии, Тувы, Бурятии). Значительный вклад подземного пи-

тания был отмечен и для почв Казахстана (Иванов, Глазовский, 1979). Автоморфные засоленные почвы имеют незначительное распространение, и их наличие определяется присутствием засоленных пород.

В заключение остановимся на возможных особенностях формирования засоленных территорий котловин в свете влияния аридизации климата на водный режим почв. При аридизации климата можно ожидать сокращение влаги в почвенной толще, поступающей за счет осадков. При этом важным моментом является ритм выпадения осадков и длительность периодов в году, когда КУ < 1 (Рухович и др., 2019). В рассматриваемых регионах выпадение осадков имеет четкий максимум (июль, август), причем в ряде котловин (Улугхемская, Тува) в летний период, несмотря на аридизацию, количество осадков возросло (Черноусенко, Хитров, 2019). При равномерном в течение года снижении КУ можно ожидать общего уменьшения нисходящих потоков почвенной влаги и уменьшения питания грунтовых вод за счет атмосферных осадков. В этом случае возможно расширение площадей почв, где капиллярная кайма опустится, и восходящее движение влаги прекратится (разрыв капиллярной каймы). При этом нарушается один из механизмов накопления солей в верхних почвенных горизонтах, что, впрочем, не означает их отсутствия в нижней части профиля почв. Такой механизм снижения площадей распространения процессов засоления предполагает значимое влияние атмосферных осадков на УГВ. В данной работе рассматриваются почвы межгорных котловин. Основным источником питания гидроморфных территорий здесь является речной сток и выклинивающиеся подземные воды. Оба источника формируются накоплением влаги в горах и не связаны напрямую с аридизацией климата котловин. В связи с этим авторы считают, что уменьшение атмосферного питания грунтовых вод гидроморфных почв котловин не скажется на уровне их гидроморфизма. Это отличает водные режимы котловин от обширных равнинных территорий (Казахстан, юг Европейской России и др.), где аридизация климата может привести к снижению УГВ, разрыву капиллярной каймы и, как следствие, к снижению площадей распространения засоления почв (Иванов, 1992). Этот процесс может проявиться, главным образом, в полугидромофных

почвах, которые имеют незначительное распространение на юге Восточной Сибири и в Монголии и в данной статье не рассматривались.

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время в котловинах юга Восточной Сибири, так же, как и в регионах южной Монголии, однонаправленного изменения климата в связи аридизацией не наблюдается. В ряде регионов за последние 50–60 лет (Минусинская котловина) наблюдается снижение аридизации, хотя изменения категории (степени аридности) не произошло. В других котловинах, несмотря на тенденцию роста аридности за этот период времени, территории не изменили категорию аридности (Каргынская и Улугхемская котловины Тувы, Удинская, Тункинская Бурятии). Тем не менее ряд котловин перешел в более аридную категорию: Еравненская и Баргузинская котловины Бурятии из слабоаридных перешли в категорию субаридных; Убсунурская – из аридной в сильно аридную (по классификации Лобовой с соавт., 1977).

2. Анализ материалов, характеризующих засоленность автоморфных почв, свидетельствует о том, что проявление засоления как в Монголии, так и в котловинах юга Восточной Сибири связано в первую очередь с засоленностью почвообразующих пород, а не с аридностью климата.

3. Современный процесс засоления в условиях межгорных котловин юга Восточной Сибири и Монголии, определяемый аридностью климата, связан с гидроморфизмом, поэтому усиление аридности климата в этих условиях, вероятнее всего, приведет к активизации засоления почв.

4. Проблема влияния континентальности климата на процесс соленакопления требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
2. *Гунин П.Д., Панкова Е.И., Голованов Д.Л., Мандахбаяр Ж.* Экосистемы природных оазисов пустынной зоны Центральной Азии.

Часть 1. Эхийн-гол – природниковый оазис Заалтайской Гоби. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2018. 216 с.
3. *Залибеков З.Г.* Аридные земли мира и их динамика в условиях современного климатического потепления // Аридные экосистемы. Т. 17. № 1 (46). 2011. С. 5–13.
4. *Золотокрылин А.Н.* Гетерогенность аридизации в центральной Азии в конце 20 века // Аридные экосистемы. 2005. Т. 11. № 26–27. С. 100–105.
5. *Золотокрылин А.Н., Гунин П.Д., Виноградова В.В., Бажа С.В.* Изменение климата и состояние растительного покрова Монголии в 20 веке // Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охрана. М.: Типография Россельхозакадемии, 2007. С. 89–100.
6. *Зонн И.С.* Конференция ООН в Найроби: проблема опустынивания 20 лет спустя // Аридные экосистемы. 1997. Т. 3. № 6–7. С. 12–27.
7. *Иванов И.В.* Эволюция степных почв в галоцене. М.: Наука, 1992. 142 с.
8. *Иванов И.В., Глазовский Н.Ф.* Геохимический анализ почвенного покрова степей и пустынь. М.: Наука, 1979. 135 с.
9. *Калинина Н.В., Рухович Д.И, Панкова Е.И., Черноусенко Г.И, Королева П.В.* Картографический анализ зависимости распространения засоленных почв на территории России от ряда климатических характеристик (по широте 53°44′) // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1–19. DOI: 10.7868/S0032180X16110046.
10. *Ковда В.А.* Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука, 1980. 112 с.
11. Конвенция Организации Объединенных Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке. 1994. 66 с.
12. *Лобова Е.В., Островский И.М., Хабаров А.В.* Об определении засушливости аридных областей мира // Проблемы освоения пустынь. Ашхабад: изд-во Ылым, 1977. № 4. С. 31–40.
13. *Мезенцев В.С., Карнацевич И.В.* Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 168 с.
14. Национальный доклад “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградации земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” (под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева). Т. 2. М.: ООО “Изд-во МБА”, 2019. 476 с.
15. *Панкова Е.И.* Генезис засоления почв пустынь. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1992. 136 с.
16. *Панкова Е.И.* Засоленность почв пустынь Монголии и Средней Азии как отражение современных и прошлых этапов развития пустынных

экосистем // Сб. тр. Экосистемы Внутренней Азии: вопросы исследования и охрана. М.: Типография Россельхозакадемии, 2007. С. 215–236.

17. *Панкова Е.И., Айдаров И.П., Голованов Д.Л., Ямнова И.А.* Засоление как основной почвообразовательный процесс в почвах природных оазисов Гобийских пустынь // Почвоведение. 2015. № 10. С. 1155–1167. DOI: 10.7868/S0032180X15100081.

18. *Панкова Е.И., Конюшкова М.В.* Влияние глобального потепления на засоленность почв аридных регионов // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. Вып. 71. С. 3–15. DOI: 10.19047/0136-1694-2013-71-3-15.

19. *Панкова Е.И., Конюшкова М.В.* Климат и засоленность почв Центральной Азии // Почвоведение. 2013а. № 7. С. 771–777. DOI: 10.7868/S0032180X13070071.

20. *Панкова Е.И., Рубцова Л.П.* Засоление почв сухих и опустыненных степей Монголии // Почвоведение. 1983. № 9. С. 13–21.

21. *Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Сопоставление каштановых почв Центральной Азии с их аналогами в других почвенно-географических провинциях сухостепной зоны суббореального пояса Евразии // Аридные экосистемы. 2018. Т. 24. № 2 (75). С. 13–22. DOI: 10.24411/1993-3916-2018-00013.

22. *Розанов Б.Г.* Пустыня и опустынивание // Проблемы освоения пустынь. 1992. № 3. С. 45–48.

23. *Рухович Д. И., Панкова Е. И., Калинина Н. В., Черноусенко Г.И.* Количественный расчет параметров выделения зон и фаций каштановых почв России на основе почвенно-гранулометрических показателей // Почвоведение. 2019. № 3. С. 304–316. DOI: 10.1134/S0032180X1901012X.

24. *Черноусенко Г.И., Курбатская С.С.* Засоленность почв разных природных зон котловинных ландшафтов Тувы // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1296–1311. DOI: 10.7868/S0032180X17110041.

25. *Черноусенко Г.И., Хитров Н.Б.* Изменение климата в зоне распространения засоленных почв криоаридных регионов на юге Восточной Сибири. // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 3. С. 5–57. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10038.

26. *Behnke R.H.* Desertification: causes, impacts and consequences. Spinger, 2012. 600 p.

27. *Climate and Land Degradation* // World Meteorological Organization WMO. 2005. No. 989. 34 p.

28. *Dregne H.E.* Land degradation in the dry lands // Arid Land Research and Management. 2002. Vol. 16. Iss. 2. P. 99–132.

29. *Geist H.* The causes and progression of desertification. Ashgate. 2005. 272 p.
30. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis // Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / *J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson* (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. 881 p.
31. *Le Hou´erou Henry N.* Climate change, drought and desertification // Journal of Arid Environments. 1996. Vol. 34. Iss. 2. P. 133–185.
32. *Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M.* A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100) // Working Paper 55. Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, 2004.
33. *Trabucco A., Zomer R.J.* Global aridity index (Global-Aridity) and global potential evapotranspiration (Global-PET) geospatial database. CGIAR Consortium for Spatial Information. URL: http://www.csi.cgiar.org. 2009.
34. UNESCO. Map of the World Distribution of Arid Regions. Techn. Notes No. 7. Paris. 1977. 54 p.
35. Global Geospatial Potential EvapoTranspiration and Aridity Index Methodology and Dataset Description. URL: https://csidotinfo.files.wordpress.com/2019/01/global-aridity-and-global-pet-methodology.pdf.

REFERENCES

1. *Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii* (The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation), Moscow: Rosgidromet, 2014, 1008 p.
2. Gunin P.D., Pankova E.I., Golovanov D.L., Mandakhbayar Zh., *Ekosistemy prirodnykh oazisov pustynnoi zony Tsentral'noi Azii. Chast' 1. Ekhiin-gol – prirodnikovyi oazis Zaaltaiskoi Gobi* (Ecosystems of natural oases of the desert zone of Central Asia. Part 1. Ekhiyn-gol – a natural oasis of the Trans-Alta Gobi), Moscow: Tov-vo nauchnykh izdanii KMK, 2018, 216 p.
3. Zalibekov Z.G., Aridnye zemli mira i ikh dinamika v usloviyakh sovremennogo klimaticheskogo potepleniya (Arid lands of the world and their dynamics in the context of modern climate warming), *Aridnye ekosistemy*, 2011, Vol. 17, No. 1 (46), pp. 5–13.

4. Zolotokrylin A.N., Geterogennost' aridizatsii v tsentral'noi Azii v kontse 20 veka (Heterogeneity of Aridization of Central Asia at the End of the 20th Century), *Aridnye ekosistemy*, 2005, Vol. 11, No. 26–27, pp. 100–105.
5. Zolotokrylin A.N., Gunin P.D., Vinogradova V.V., Bazha S.V., Izmenenie klimata i sostoyanie rastitel'nogo pokrova Mongolii v 20 veke (Climate change and the state of vegetation in Mongolia in the 20th century), *Ekosistemy Vnutrennei Azii: voprosy issledovaniya i okhrana*, Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii, 2007, pp. 89–100.
6. Zonn I.S., Konferentsiya OON v Nairobi: problema opustynivaniya 20 let spustya (Conference in Nairobi: Desertification 20 Years Later), *Aridnye ekosistemy*, Vol. 3, No. 6–7, 1997, pp. 12–27.
7. Ivanov I.V., *Evolyutsiya stepnykh pochv v galotsene* (The evolution of steppe soils in the Halocene), Moscow: Nauka, 1992, 142 p.
8. Ivanov I.V., Glazovskii N.F., *Geokhimicheskii analiz pochvennogo pokrova stepei i pustyn'* (Geochemical analysis of the soil cover of steppes and deserts), Moscow: Nauka, 1979, 135 p.
9. Kalinina N.V., Rukhovich D.I., Pankova E.I., Chernousenko G.I., Koroleva P.V., Cartographic Analysis of the Distribution of Saline Soils in Russia Depending on Some Climatic Parameters, *Eurasian Soil Science*, 2016, Vol. 49, No. 11, pp. 1211–1227, DOI: 10.1134/S1064229316110041.
10. Kovda V.A., *Aridizatsiya sushi i bor'ba s zasukhoi* (Land Aridization and Drought Management), Moscow: Nauka, 1980, 112 p.
11. *Konventsiya Organizatsii Ob'edinennykh Natsii po bor'be s opustynivaniem v tekh stranakh, kotorye ispytyvayut ser'eznuyu zasukhu i/ili opustynivanie, osobenno v Afrike* (United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Especially in Africa), 1994, 66 p.
12. Lobova E.V., Ostrovskii I.M., Khabarov A.V., Ob opredelenii zasushlivosti aridnykh oblastei mira (About determination of aridity of arid regions of the world), In: *Problemy osvoeniya pustyn'* (Problems of desert-land development), Ashkhabad: izd-vo Ylym, 1977, No .4, pp. 31–40.
13. Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V., *Uvlazhnennost' Zapadno-Sibirskoi ravniny* (Humidity of the West Siberian Plain), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969, 168 p.
14. *Natsional'nyi doklad "Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsii zemel', institutsional'nye, infrastrukturnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii* (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)", R.S.-Kh. Edel'geriev (ed.), (National report "Global climate and soil cover of Russia: desertification and land degradation, institutional, infrastructural, technological adaptation measures (agriculture and forestry)"), Vol. 2, Moscow: OOO "Izd-vo MBA", 2019, 476 p.

15. Pankova E.I., *Genezis zasoleniya pochv pustyn'* (Desert Salinization Genesis), Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1992, 136 p.
16. Pankova E.I., Zasolennost' pochv pustyn' Mongolii i Srednei Azii kak otrazhenie sovremennykh i proshlykh etapov razvitiya pustynnykh ekosistem (Salinity of deserts in the deserts of Mongolia and Central Asia as a reflection of modern and past stages of development of desert ecosystems), *Sb. tr. Ekosistemy Vnutrennei Azii: voprosy issledovaniya i okhrana*, Moscow: Tipografiya Rossel'khozakademii, 2007, pp. 215–236.
17. Pankova E.I., Yamnova I.A., Aidarov I.P., Golovanov D.L., Salinization as the main soil-forming process in soils of natural oases in the Gobi Desert, *Eurasian Soil Science*, 2015, Vol. 48, No. 10, pp. 1017–1028, DOI: 10.1134/S1064229315100087.
18. Pankova E.I., Konyushkova M.V., Vliyanie global'nogo potepleniya na zasolennost' pochv aridnykh regionov (The Effect of Global Warming on Soil Salinity in Arid Regions), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2013, Vol. 71, pp. 3–15, DOI: 10.19047/0136-1694-2013-71-3-15.
19. Pankova E.I., Konyushkova M.V., Climate and soil salinity in the deserts of Central Asia, *Eurasian Soil Science*, 2013, Vol. 46, No. 7, pp. 721–727, DOI: 10.1134/S1064229313070065.
20. Pankova E.I., Rubtsova L.P., Zasolenie pochv sukhikh i opustynennykh stepei Mongolii (Salinization of Mongolian dry and desert steppes soils), *Pochvovedenie*, 1983, No. 9, pp. 13–21.
21. Pankova E.I., Chernousenko G.I., Comparison of Chestnut Soils of Central Asia with Their Analogs in Other Soil-Geographical Provinces of the Dry-Steppe Zone of the Eurasian Subboreal Belt, *Arid Ecosystems*, 2018, Vol. 8, No. 2, pp. 89–96, DOI: 10.1134/S2079096118020051.
22. Rukhovich D.I., Pankova E.I, Kalinina N.V., Chernousenko G.I., Quantitatification of the Parameters of Zones and Facies of Chestnut Soils in Russia Basing on the Climatic-Soil-Textural Index, *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, No. 3, pp. 271–282, DOI: 10.1134/S1064229319010125.
23. Rozanov B.G., Pustynya i opustynivanie (Desert and desertification), *Problemy osvoeniya pustyn'*, 1992, No. 3, pp. 45–48.
24. Chernousenko G.I., Kurbatskaya S.S., Soil Salinization in Different Natural Zones of Intermontane Depressions in Tuva, *Eurasian Soil Science*, 2017, Vol. 50, No. 11, pp. 1255–1270. DOI: 10.1134/S1064229317110047.
25. Chernousenko G.I., Khitrov N.B., Izmenenie klimata v zone rasprostraneniya zasolennykh pochv krioaridnykh regionov na yuge Vostochnoi Sibiri (Climate Change in the Zone of Distribution of Salted Soils of Cryoarid Regions in South of East Siberia), *Electronic scientific journal "Ecosystems: Ecology and Dynamics"*, 2019, Vol. 3, No. 3, pp. 5–57, DOI: 10.24411/ 2542-2006-2019-10038.

26. Behnke R.H., *Desertification: causes, impacts and consequences*, Spinger, 2012, 600 p.
27. Climate and Land Degradation, In: *World Meteorological Organization WMO*, 2005, No. 989, 34 p.
28. Dregne H.E., Land degradation in the dry lands, *Arid Land Research and Management*, 2002, Vol. 16, Iss. 2, pp. 99–132.
29. Geist H., *The causes and progression of desertification*, Ashgate, 2005, 272 p.
30. IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, *J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, C.A. Johnson* (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2001. 881 p.
31. Le Hou´erou Henry N., Climate change, drought and desertification, *Journal of Arid Environments*, 1996, Vol. 34, Iss. 2, pp. 133–185.
32. Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., Hulme M., New M., *A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001–2100)*, In: Working Paper 55. Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, 2004.
33. Trabucco A., Zomer R.J., *Global aridity index (Global-Aridity) and global potential evapotranspiration (Global-PET) geospatial database*, CGIAR Consortium for Spatial Information, 2009, URL: http://www.csi.cgiar.org.
34. UNESCO, *Map of the World Distribution of Arid Regions*, Techn. Notes No. 7, Paris, 1977, 54 p.
35. *Global Geospatial Potential EvapoTranspiration and Aridity Index. Methodology and Dataset Description*, URL: https://csidotinfo.files.wordpress.com/2019/01/global-aridity-and-global-pet-methodology.pdf.