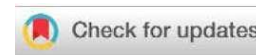


УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.224>

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КУЗНЕЦКО-САЛАИРСКОЙ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ: МЕТОДИКА ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ, ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ, КОРРЕЛЯЦИЯ С СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ

© 2023 Н. В. Гопп

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2,
г. Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: gopp@issa-siberia.ru

Цель исследования. Разработать методику цифрового картографирования агроэкологического потенциала (АП) западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции и провести сравнительный анализ данного показателя, характерного для 12-ти типов и подтипов почв изучаемой территории; провести корреляционный анализ зависимости между географо-климатическими показателями и содержанием органического углерода в почвах.

Территория исследования и методы. Территория исследования занимает западную часть Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции Алтае-Саянской горной страны (Россия, Новосибирская область, Искитимский район). В работе использованы: методы цифрового картографирования; геопространственный, корреляционный и сравнительно-географический анализы.

Основные результаты. Разработанная методика и использование картографических данных в растровом формате позволили выявить выраженную пространственную дифференциацию АП изучаемой территории, а также отобразить его пространственное изменение на цифровой карте. Геопространственный анализ показал, что значения АП варьируют в диапазоне от 4,5 до 6,0 и увеличиваются с юго-запада на северо-восток исследуемой территории. Изменение АП на 0,5 единицы послужило основанием для выделения 3-х агроклиматических оценочных подзон. Средние значения АП, характерные для почв изучаемой территории, варьировали в диапазоне от 4,9 до 5,4. Зависимости между географо-климатическими параметрами (сумма активных температур воздуха выше 10°C, сумма осадков и испаряемость в год, географическая широта, коэффициенты увлажнения и континентальности климата) и содержанием органического углерода в почвах характеризовались умеренной и заметной силой связи.

Заключение. Проведенные исследования позволили: 1) разработать методику цифрового картографирования агроэкологического потенциала и выделить 3 агроклиматические оценочные подзоны; 2) получить более точные сведения об изменении климатических характеристик в пространстве; 3) определить средние значения агроэкологического потенциала, характерные для 12-ти типов и подтипов почв изучаемой территории; 4) выявить зависимость между географо-климатическими показателями и содержанием органического углерода в почвах.

Карты агроэкологического потенциала можно в дальнейшем использовать для составления карт нормативной урожайности выращиваемых культур; подбора сортов сельскохозяйственных культур с определенными потребностями в ресурсах тепла и влаги; проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия; оценки кадастровой стоимости земель и их пригодности для использования в сельском хозяйстве; изучения влияния климатических характеристик на почвенно-растительный покров.

Ключевые слова: сумма активных температур воздуха; коэффициент увлажнения; континентальность климата; почвенная база данных; WorldClim, SAGA GIS.

Цитирование: Гопп Н.В. Агроэкологический потенциал западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции: методика цифрового картографирования, геопространственный анализ, корреляция с содержанием органического углерода в почвах // Почвы и окружающая среда. 2023. Том 6. № 3. e224. DOI: [10.31251/pos.v6i3.224](https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.224).

Исправления в статье. В настоящую статью внесены изменения в связи с обнаруженной ошибкой расчёта карты поправки к коэффициенту увлажнения в программном обеспечении. В конечном результате значительно изменились две карты (коэффициента увлажнения и агроэкологического потенциала) и рисунок 5.

ВВЕДЕНИЕ

Оценка природных ресурсов, в частности, климатического потенциала территории, имеет важное значение в агрономической практике; влияет на выработку оптимальных стратегий снабжения продовольствием населения, эффективное использование и управление земельными и растительными ресурсами (Altieri et al., 2015; Булгаков и др., 2016; Шпедт, Трубников, 2020). Согласно литературным данным (Тарбаев и др., 2020), продуктивность угодий зависит как от естественных факторов (обеспеченность территории водными и тепловыми ресурсами, почвенные свойства), так и от агротехнологических приёмов (подбор сортов, управление пищевым режимом, борьба с болезнями, сорняками и вредителями). Кроме этого, оценка и изучение влияния климатических показателей на почвенный покров имеет важное значение в фундаментальных исследованиях, так как климат является важным фактором почвообразования. Существует достаточно много отдельных показателей, которые характеризуют особенности климатических условий территории в определенном аспекте. Однако эти показатели эффективнее всего рассматривать в совокупности с другими. Среди интегральных показателей можно выделить **агроэкологический потенциал (АП)**, который объединяет в себя климатические показатели, характеризующие обеспеченность территории ресурсами тепла и влаги с учетом континентальности климата. Для расчета АП используются следующие климатические показатели: сумма активных температур воздуха выше 10°C (**САТ10**), коэффициенты увлажнения (**КУ**) и континентальности климата (**КК**) (Карманов, Булгаков, 1997; Карманов, Фриев, 1982; Шишов и др., 1991; Оценка качества ..., 2007). Климатические показатели не постоянны как в пространственном, так и временном аспектах, а их изменение влияет на АП, который для наглядности лучше всего отображать на картах (Гопш, 2023). Наличие усредненных за несколько лет климатических данных в удобном для математических расчетов виде (растры/гриды) позволяет упростить процедуру картографирования АП и сделать итоговые карты, во-первых, более точными, во-вторых, дифференцированными в пространственном отношении, по сравнению с расчетами с использованием только справочных данных. Последние представляют собой усредненные значения для большой площади исследуемой территории и не позволяют объективно оценить пространственную дифференциацию АП. Оценка и картографирование АП необходимы, прежде всего, для подбора сортов сельскохозяйственных культур и планирования мероприятий по их возделыванию, а также для сравнительного анализа значений АП, характерных для компонентов ландшафта (почв, растительности и др.). Кроме того, АП применяется при оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве (Методические рекомендации..., 2003; Оценка качества..., 2007), кадастровой стоимости земель сельскохозяйственного назначения (Государственная кадастровая ..., 2012; Шехтер, Сапожников, 2022), а также является важной составляющей при расчете почвенно-экологического индекса (Шишов и др., 1991; Карманов, Булгаков, 2012).

Цель исследования – разработать методику цифрового картографирования агроэкологического потенциала (АП) западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции и провести сравнительный анализ данного показателя, характерного для 12-ти типов и подтипов почв изучаемой территории; провести корреляционный анализ зависимости между географо-климатическими показателями и содержанием органического углерода в почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория исследования расположена в западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции Алтае-Саянской горной страны (Россия, Новосибирская область, Искитимский район) и занимает площадь 4384 км² (рис. 1).

Климат территории континентальный. Средние температуры воздуха: годовая – -0,3°C...-0,6°C, января – -19°C, июля – +19°C. Количество осадков варьирует от 400 до 450 мм/год. Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (отношение суммы осадков к испарению в год) варьирует от 0,7 до 0,8. Сумма активных температур воздуха выше 10°C (САТ10) находится в диапазоне от 1750 до 1900°C (Почвенно-климатический атлас..., 1978).

Названия таксономических единиц почв приведены в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР (Классификация..., 1977). Наименование почв согласно международной классификации почв WRB (IUSS..., 2015) следующее (приведено в скобках): чернозем выщелоченный (Luvic Chernozem); чернозем оподзоленный (Luvic Greyzemic Chernozem); лугово-черноземная обыкновенная (Gleyic Chernozem); лугово-черноземная оподзоленная (Greyzemic

Gleyic Chernozem); светло-серая, серая, темно-серая лесная (Luvic Greyzemic Phaeozem); луговая карбонатная (Eutric Gleysol); луговая оподзоленная (Haplic Gleysols); луговая солончаковатая (Haplic Gleysol (Protosalic)); аллювиальная луговая (Eutric Fluvisol); солонец луговой (Gleyic Solonetz).

Черноземы, темно-серые лесные, серые и светло-серые лесные почвы сформировались на лёссовидных карбонатных суглинках; на оглеенных лёссовидных суглинках – лугово-черноземные и луговые почвы; на аллювиальных отложениях рек (супесях и песках) – аллювиальные луговые почвы. Гранулометрический состав почвообразующих пород и почв в основном представлен средними и тяжелыми суглинками (иловато-пылеватыми). База данных почвенных разрезов была создана на основе архивных данных проектного института по землеустройству «ЗАПСИБГИПРОЗЕМ», проводившего почвенные обследования в 1984–1990 гг. В общей сложности в базе данных содержится описание 263 профилей почв. Содержание органического углерода в почвах определяли мокрым озолением по Тюрину (Агрохимические методы..., 1975).

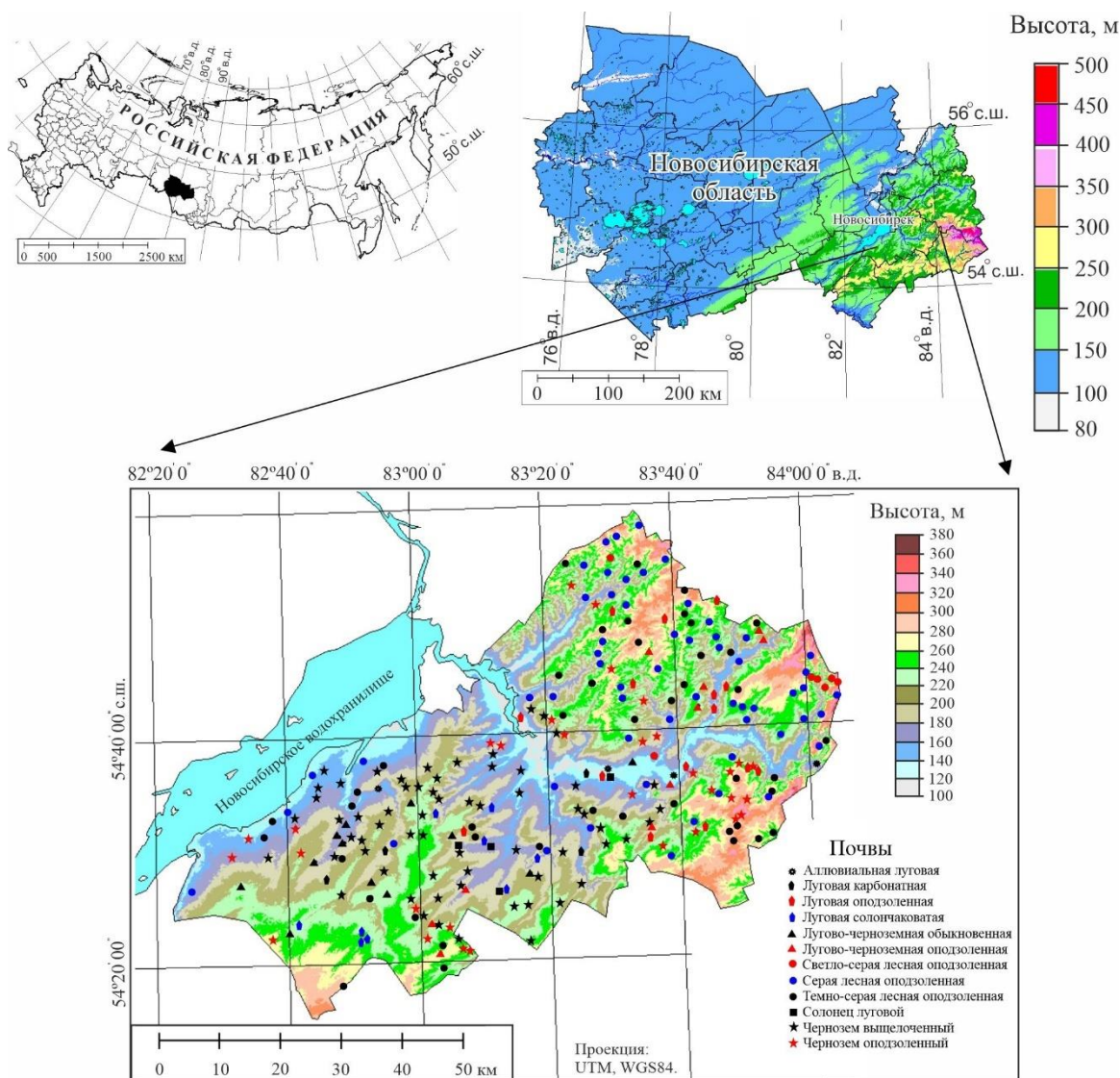


Рисунок 1. Карта территории исследования и схема расположения почвенных разрезов (n=263).

Агроэкологический потенциал рассчитывали по следующей формуле (Шишов и др., 1991; Оценка качества ..., 2007; Справочник агроклиматического..., 2010):

$$АП = \frac{\sum t > 10^{\circ} \times (КУ - P)}{КК + 100} \quad (1)$$

где $\sum t > 10^{\circ}$ – сумма активных температур воздуха выше 10°C ; КУ – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков в год к испаряемости), величины КУ более 1,1 принимаются

равными 1,1; P – поправка к КУ, при КУ > 0,76: P=0,20–0,6 (1,1–КУ); при КУ 0,76–0,36 P=0; при КУ 0,35–0,30 P=0,35–КУ; при КУ < 0,30 P=0,05; КК – коэффициент континентальности климата.

Коэффициент континентальности климата (КК) рассчитывали по формуле (Шишов и др., 1991; Оценка качества ..., 2007):

$$КК = \frac{360 \times (t^{\circ}_{\max} - t^{\circ}_{\min})}{\lambda + 10} \quad (2)$$

где t°_{\max} – средняя температура самого теплого месяца; t°_{\min} – средняя температура самого холодного месяца; λ – широта местности с точностью до десятых долей градуса.

Величины КК более 200 принимали равными 200 (Шишов и др., 1991; Оценка качества..., 2007).

В качестве исходных данных для расчета карты АП были использованы геопривязанные растровые карты:

- 1) суммы активных температур воздуха выше 10°C (Почвенно-климатический атлас..., 1978);
- 2) коэффициента увлажнения (построена на основе растровых карт суммы осадков в год WorldClim (Fick, Hijmans, 2017) и испаряемости с открытой водной поверхности пресного водоёма (Почвенно-климатический атлас..., 1978));
- 3) коэффициента континентальности климата (карта построена на основе растровых карт средней температуры самого теплого и холодного месяцев WorldClim (Fick, Hijmans, 2017) по формуле 2).

Все математические операции с геопривязанными растровыми картами проведены в программном обеспечении SAGA GIS (Conrad et al., 2015), в том числе корректировка растровой карты коэффициента увлажнения согласно поправкам к КУ. Растровая карта широты местности (десятичные градусы в каждом пикселе в координате Z), необходимая для составления карты коэффициента континентальности климата, была составлена с точностью до четырех знаков после запятой. Все растровые карты приведены к разрешению 30×30 м.

Корреляционный анализ проведен с использованием непараметрического коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r_s) при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно изданию (Справочник..., 2010), территория исследования относится к 4-ой агроклиматической оценочной подзоне, для которой характерны следующие средние значения климатических параметров: САТ10 – 1861°C, КУ – 0,86; КК – 200, АП – 5 (рис. 2).



Рисунок 2. Карта-схема агроклиматического оценочного зонирования Новосибирской области (Справочник..., 2010).

Согласно разработанной методике, составлены геопривязанные растровые карты климатических параметров, необходимые для расчета АП (рис. 3). По карте САТ10 выявлено, что значения варьируют от 1650 до 1900°C; они отличаются от справочных, прежде всего тем, что это не одно среднее значение для всей территории, а множество локальных значений пикселей, изменяющихся в пространстве, с отчётливо заметным трендом увеличения с северо-востока на юго-запад (рис. 3, А). САТ10 изучаемой территории подходит для выращивания большинства сельскохозяйственных культур с различной группой спелости (ранне-, средне- и позднеспелые), за исключением теплолюбивых культур, для полного созревания которых необходимы более высокие значения этого показателя (средне- и позднеспелые сорта подсолнечника, средне- и позднеспелые сорта кукурузы и др.). Если культура обеспечена теплом менее, чем на 50%, то её возделывание не имеет смысла (Лосев, 1994).

По картам суммы осадков в год и испаряемости выявлено, что эти значения варьируют от 375 до 500 мм и от 350 до 500 мм, соответственно (рис. 3, Б, В). Согласно атласу (Почвенно-климатический..., 1978), в зависимости от суммы осадков в год выделяют три типа увлажнения: достаточное, но неустойчивое (350–400 мм); избыточное, устойчивое увлажнение (400–450 мм) и весьма избыточное устойчивое увлажнение (> 450 мм). На соответствующей карте отчётливо заметен тренд увеличения количества осадков с юго-запад на северо-восток (рис. 3, Б). На производной карте коэффициента увлажнения показано, что значения с учетом поправки варьируют в диапазоне от 0,7 до 0,9 (рис. 3, Г). Без учета поправки значения КУ варьируют в диапазоне от 0,7 до 1,4 (Гопш, 2023).

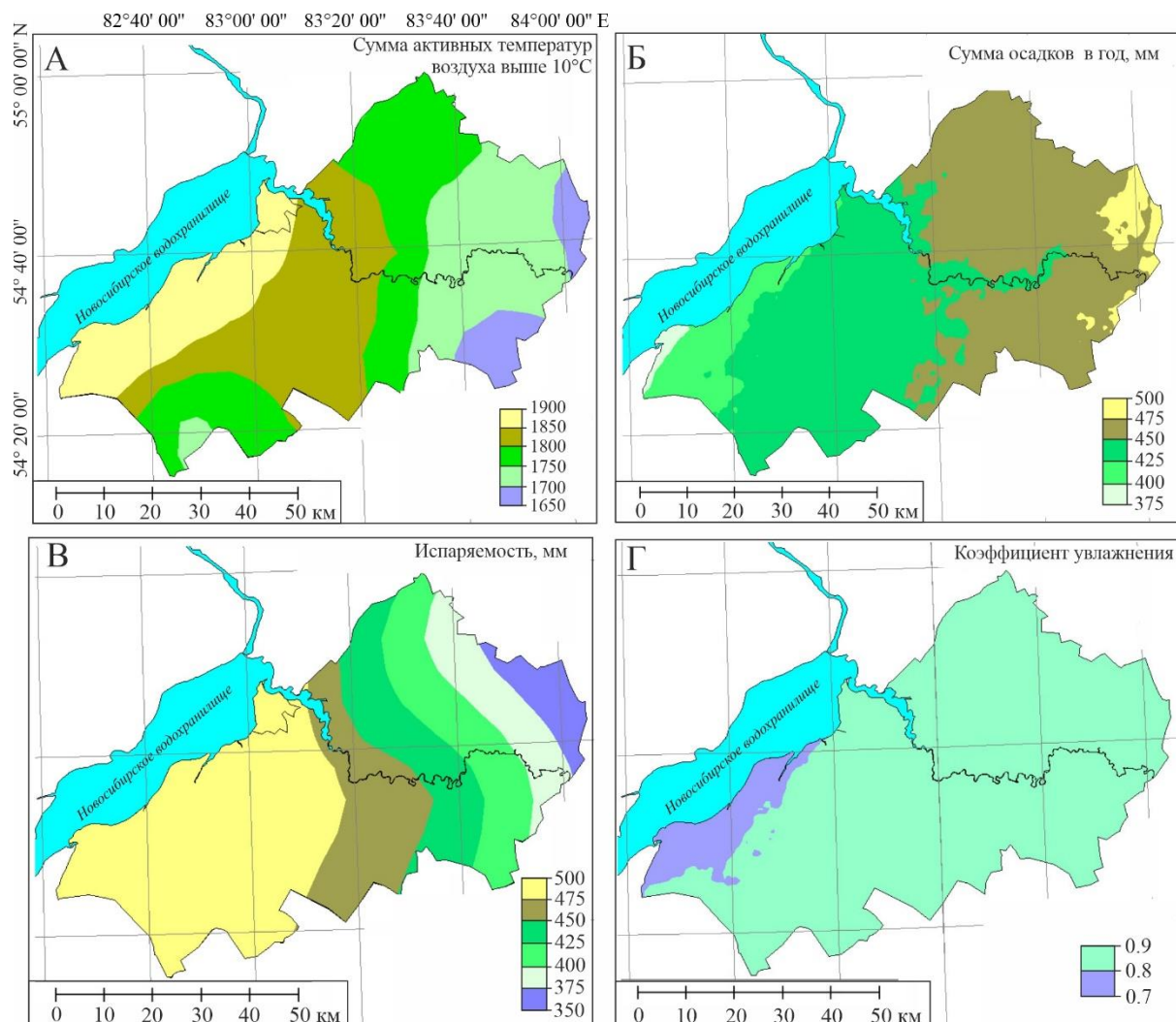


Рисунок 3. Карты климатических показателей западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции: А – сумма активных температур воздуха выше 10°C; Б – сумма осадков в год, мм; В – испаряемость с открытой водной поверхностью пресного водоёма в год, мм; Г – коэффициент увлажнения (с учетом поправки).

Для расчета коэффициента континентальности климата (КК) были использованы растровые карты среднеголетних (1970–2000 гг.) данных WorldClim 2.1 по средним температурам самого холодного и теплого месяцев. Средняя температура в июле варьировала на изучаемой территории в более широком диапазоне, чем средняя температура января (рис. 4, А, Б).

На карте коэффициента континентальности климата (с корректировкой) заметен тренд увеличения значений с северо-востока на юго-запад, т.е. контрастность температур в юго-западной части выражена более значительно, чем в северо-восточной (рис. 4, В). Без приведения значений к 200, КК варьировал в диапазоне от 190 до 204 с максимальными значениями в юго-западной части.

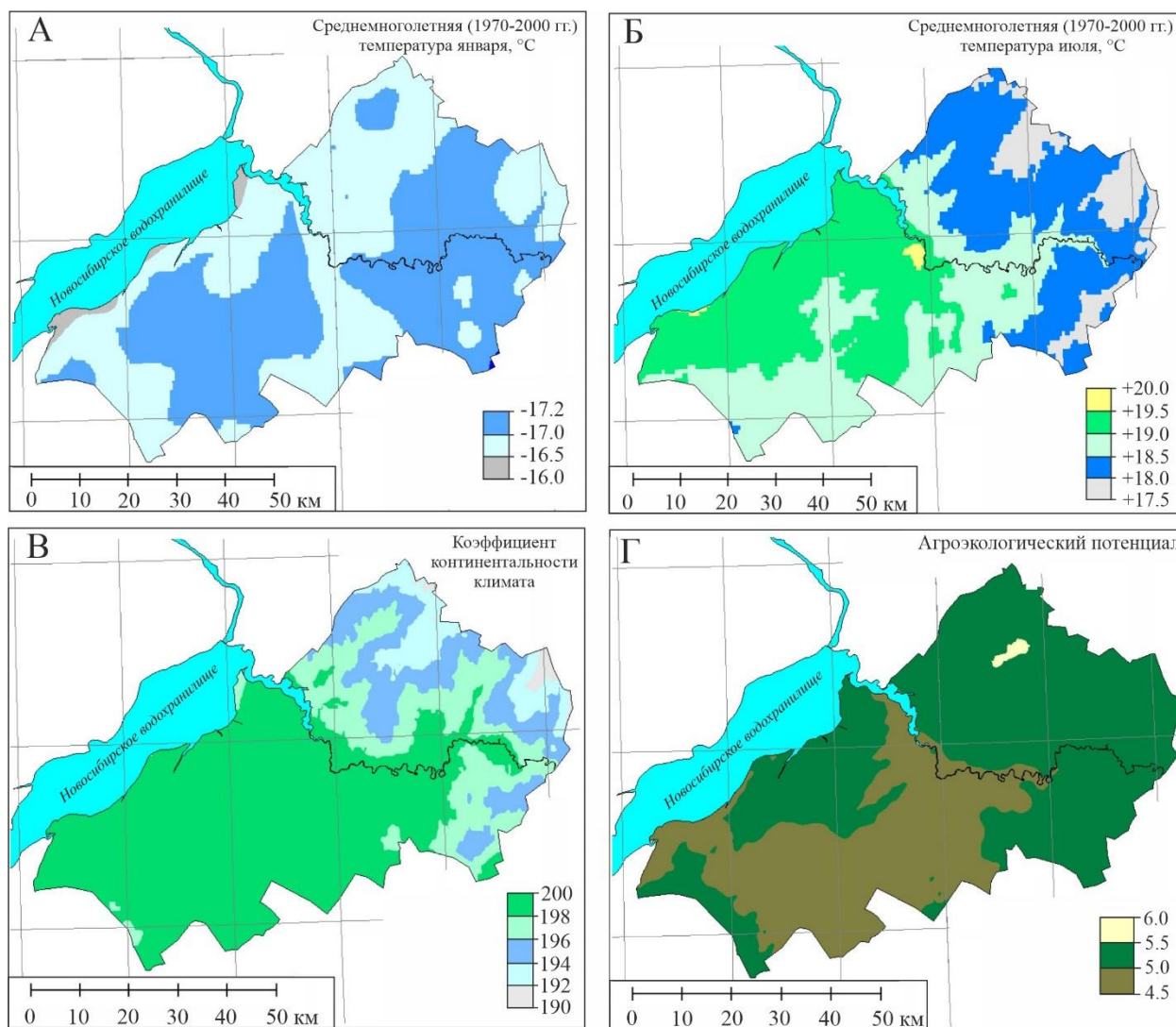


Рисунок 4. Карты климатических показателей западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции: А – среднеголетняя (1970–2000 гг.) температура воздуха в январе, °С; Б – среднеголетняя (1970–2000 гг.) температура воздуха в июле, °С; В – коэффициент континентальности климата; Г – агроэкологический потенциал.

Интегральная карта АП, составленная с использованием растровых карт климатических показателей (рис. 3, А, Г; рис. 4, В), характеризуется выраженной пространственной дифференциацией по значениям АП (рис. 4, Г). Установлено, что АП увеличивается с юго-запада на северо-восток изучаемой территории от 4,5 до 6,0, т.е. северо-восточная часть территории в отношении имеющихся ресурсов тепла и влаги является более ценной, чем юго-западная. Согласно изданию (Справочник..., 2010), расчётное значение АП для всей изучаемой территории равно 5 (без диапазона варьирования). Таким образом, использование геопривязанных тематических карт позволило получить более точные сведения об агроэкологическом потенциале, а также отобразить его пространственное изменение на цифровой карте.

Для изучаемой территории интересен тот факт, что в отношении содержания органического углерода ($C_{орг}$) в почвах выявлена обратная тенденция изменения этого показателя, а именно, содержание $C_{орг}$ увеличивалось с северо-востока на юго-запад (Gopp, 2021). Таким образом, при условии отсутствия дефицита ресурсов тепла и влаги в юго-западной части, это может приводить к повышению урожайности сельскохозяйственных культур за счет лучшего плодородия почв.

Изменение показателя АП на 0,5 единиц служит основанием для выделения новых агроклиматических оценочных подзон (Оценка качества..., 2007). Таким образом, на изучаемой территории можно выделить 3 агроклиматические оценочные подзоны (рис. 4, Г), а не одну, которая представлена в справочнике (Справочник..., 2010).

Для сравнения: АП Краснодарского края, отличающегося высокими урожаями сельскохозяйственных культур, варьирует в диапазоне от 8,5 до 15,3 (28 агроклиматических подзон) (Справочник..., 2010), т.е. по сравнению с этим краем АП западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции значительно ниже. Средняя нормативная урожайность зерновых колосовых культур (без подразделения на виды) в Краснодарском крае составляет 46,1 ц/га, а в Новосибирской области – 16,3 ц/га (Справочник..., 2010). Известно, что фактическая урожайность культур варьирует из года в год и может отличаться от расчетной нормативной урожайности в несколько раз. Например, согласно интернет-изданию (Искитимская газета..., 2022), в 2022 году урожайность яровой пшеницы сорта «Тризо» в хозяйстве АО «Полевод» составила 82 ц/га, до этого года максимальный рекорд не превышал 50 ц/га. Это хозяйство находится северо-восточной части изучаемой территории, для которого характерны относительно высокие значения АП от 5,0 до 5,5 (рис. 4, Г). Высокие урожаи в этом хозяйстве обеспечиваются оптимальными климатическими условиями, наличием средне- и сильногумусированных почв, а также агротехническими приёмами (хозяйство перешло на применение четырехкратной подкормки жидкими и сухими удобрениями в течении вегетации). Из этого следует, что и в условиях Сибири можно получать высокие урожаи зерновых культур, сопоставимые с таковыми в других регионах страны с высоким агроэкологическим потенциалом. Очевидно, что такие результаты достигаются благодаря не только оптимальному сочетанию климатических и почвенных показателей, но и высокой агротехнике.

По анализу средних значений АП, характерных для почв изучаемой территории, можно сделать вывод о том, что формирование разных типов и подтипов почв происходит в широком диапазоне агроэкологического потенциала (рис. 5). Для почв полугидроморфного и гидроморфного рядов увлажнения характерны более высокие значения АП (почвы под номерами 1, 2, 3, 4, 5 на рис. 5).

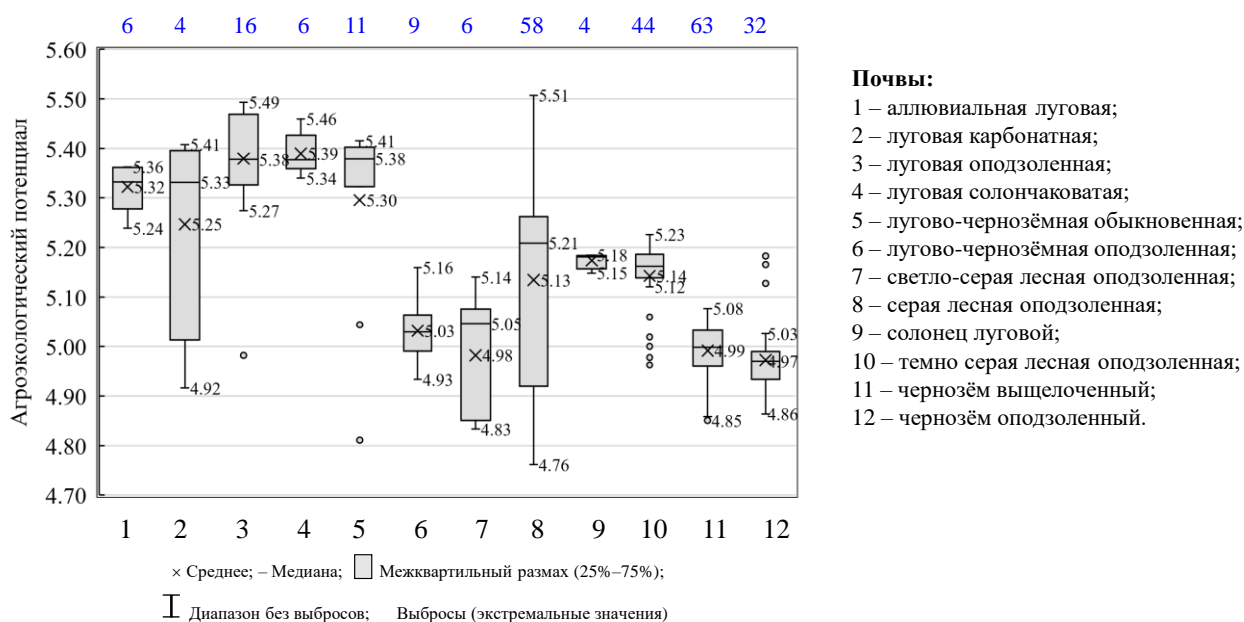


Рисунок 5. Варьирование значений агроэкологического потенциала, характерного для почв западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции (объем выборки указан синими цифрами над диаграммами размаха).

Изучение корреляционной матрицы показало, что зависимости между географо-климатическими показателями и содержанием $C_{орг}$ характеризовались умеренной (r_s от 0,3 до 0,5) и заметной (r_s от 0,5 до 0,7) силой связи (табл.). Заметная корреляция с отрицательным знаком наблюдалась между $C_{орг}$ и географической широтой ($r_s = -0,62$), т.е. при увеличении широты содержание $C_{орг}$ уменьшалось. Зависимость между коэффициентом континентальности климата и $C_{орг}$ также была достаточно весомой (r_s от 0,53 до 0,54), что позволяет сделать предположение о значимом влиянии температурной контрастности климата на накопление углерода в почвах. Учитывая то, что КК варьировал в узком диапазоне (от 190 до 200) и повторял пространственный тренд в изменении $C_{орг}$, то такая корреляция может быть связана с совпадением трендов, и не более того. Корреляцию с отрицательным знаком между $C_{орг}$ и показателями, характеризующими увлажнение территории (сумма годовых осадков, коэффициент увлажнения), можно объяснить только тем, что эти показатели имеют разнонаправленные тенденции изменения в пространстве. Согласно литературным данным (Cheng et al., 2023), корреляция между этими показателями может быть как положительной, так и отрицательной.

Таблица

Коэффициенты корреляции Спирмена ($p < 0,05$, $n = 263$)

Географо-климатические и почвенные показатели	SAT10	Сумма осадков	Испаряемость	КУ (без учета P)	КУ-P	t°_{max}	t°_{min}	Геогр. широта	КК*	КК**	АП	$C_{орг}$
SAT10	-	-0,85	0,87	-0,86	-0,85	0,84	0,13	-0,33	0,72	0,68	-0,37	0,28
Сумма осадков	-0,85	-	-0,95	0,97	0,96	-0,91	x	0,61	-0,86	-0,85	0,65	-0,45
Испаряемость	0,87	-0,95	-	-0,99	-0,98	0,91	x	-0,64	0,86	0,85	-0,69	0,46
КУ (без учета P)	-0,86	0,97	-0,99	-	0,98	-0,91	x	0,65	-0,85	-0,87	0,68	-0,46
КУ-P	-0,85	0,96	-0,98	0,98	-	-0,91	x	0,66	-0,86	-0,85	0,81	-0,44
t°_{max}	0,84	-0,91	0,91	-0,91	-0,91	-	-0,13	-0,58	0,95	0,91	-0,75	0,44
t°_{min}	0,13	x	x	x	x	-0,13	-	0,16	-0,38	-0,29	0,24	-0,23
Геогр. широта	-0,33	0,61	-0,64	0,65	0,66	-0,58	0,16	-	-0,68	-0,73	0,85	-0,62
КК*	0,72	-0,86	0,86	-0,85	-0,86	0,95	-0,38	-0,68	-	0,95	-0,83	0,53
КК**	0,68	-0,85	0,85	-0,87	-0,85	0,91	-0,29	-0,73	0,95	-	-0,83	0,54
АП	-0,37	0,65	-0,69	0,68	0,81	-0,75	0,24	0,85	-0,83	-0,83	-	-0,50
$C_{орг}$	0,28	-0,45	0,46	-0,46	-0,44	0,44	-0,23	-0,62	0,53	0,54	-0,50	-

Примечание.

SAT10 – сумма активных температур воздуха выше 10°C; КУ (без учета P) – коэффициент увлажнения без учета поправки (P); КУ-P – коэффициент увлажнения с учетом поправки (P); t°_{max} – средняя температура самого теплого месяца (июль); t°_{min} – средняя температура самого холодного месяца (январь); КК* – коэффициент континентальности климата без коррекции значений выше 200; КК** – коэффициент континентальности климата с коррекцией значений выше 200; АП – агроэкологический потенциал; $C_{орг}$ – содержание органического углерода в почвах; x – корреляция не значима при $p < 0,05$.

Сила связи (коэффициент корреляции Спирмена (r_s) по шкале Чеддока): 0,1–0,3 – слабая, 0,3–0,5 – умеренная, 0,5–0,7 – заметная, 0,7–0,9 – высокая, 0,9–0,99 – весьма высокая.

Для изучаемой территории выявлен противоположный агроэкологическому потенциалу тренд увеличения содержания $C_{орг}$ (Gopp, 2021), поэтому наличие отрицательного коэффициента корреляции ($r_s = -0,50$) между $C_{орг}$ и АП вполне закономерен. Изучение углеродно-климатических зависимостей показало, что они могут быть как с положительным, так и отрицательным знаком (см. табл.). Таким образом, очевидно, что изменение значений содержания $C_{орг}$ и климатических показателей в пространстве не всегда идет в одном направлении. Поэтому выводы о влиянии климатических показателей на изменение содержания $C_{орг}$ в почвах могут быть противоречивыми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами исследования западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции позволили: 1) разработать методику цифрового картографирования агроэкологического потенциала (АП) и выделить 3 агроклиматические оценочные подзоны; 2) получить более точные сведения об изменении климатических характеристик в пространстве; 3) определить средние значения агроэкологического потенциала, характерные для 12-ти типов и подтипов почв изучаемой территории; 4) выявить зависимость между географо-климатическими показателями и содержанием органического углерода в почвах.

Выполнение картографических работ не требует выезда на территорию исследования, так как все необходимые исходные картографические данные (сумма активных температур воздуха выше 10°C, сумма осадков и испаряемость в год) для составления карты АП находятся в свободном доступе в сети Интернет, справочниках и атласах, а производные карты (коэффициенты увлажнения и континентальности климата) рассчитываются на основе вышеперечисленных исходных данных. Разработанную методику можно усовершенствовать путем учёта сведений об экспозиции склонов и топографическом индексе влажности, которые можно вычислить с использованием цифровых моделей высот. Склоны различной экспозиции отличаются по ресурсам влаги и тепла, а их изменение приводит к изменению коэффициента увлажнения, влияющего на варьирование значений АП. Таким образом, дополнительный учёт этих показателей позволит создать более точную и дифференцированную карту АП, учитывающую микроклиматические условия, формирующиеся благодаря рельефу.

Карты агроэкологического потенциала можно в дальнейшем использовать для составления карт нормативной урожайности выращиваемых культур; подбора сортов сельскохозяйственных культур с определенными потребностями в ресурсах тепла и влаги; проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия; оценки кадастровой стоимости земель и их пригодности для использования в сельском хозяйстве; изучения влияния климатических характеристик на почвенно-растительный покров.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 121031700316-9).

ЛИТЕРАТУРА

Агрохимические методы исследования почв. Москва: Наука, 1975. 656 с.

Булгаков Д.С., Рухович Д.И., Шишконокова Е.А., Вильчевская Е.В. Выделение агроклиматических ареалов для оптимального возделывания сельскохозяйственных культур в границах природно-сельскохозяйственного районирования территории России // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1118–1130. DOI: [10.7868/S0032180X16070030](https://doi.org/10.7868/S0032180X16070030).

Гопп Н.В. Цифровое картографирование агроэкологического потенциала западной части Кузнецко-Салаирской геоморфологической провинции // Почвы и окружающая среда: Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (2–6 октября 2023 г., г. Новосибирск). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 66–70. DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023).

Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации / Под ред. П.М. Сапожникова, С.И. Носова. Москва, 2012. 157 с.

Искитимская газета [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://goo.su/Jd0Fl> (дата обращения 04.07.2023).

Карманов И.И., Булгаков Д.С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. Москва: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. АПР, 2012. 122 с.

Карманов И.И., Булгаков Д.С. Ландшафтно-сельскохозяйственная типизация территории: методическое пособие. Москва: РАСХН, Почв. ин-т им. Докучаева, 1997. 48 с.

Карманов И.И., Фриев Т.А. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей // Почвоведение. 1982. № 5. С. 13–21.

Классификация и диагностика почв СССР. Москва: Колос, 1977. 224 с.

Лосев А.П. Практикум по агрометеорологическому обеспечению растениеводства. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1994. 244 с.

Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. Росземкадастр, ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, РосНИИземпроект, 2003. 170 с.

Оценка качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. Москва: Роснедвижимость – ФГУП «Госземкадастрсъемка» – ВИСХАГИ, 2007. 131 с.

Почвенно-климатический атлас Новосибирской области. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1978. 122 с.

Справочник агроклиматического оценочного зонирования субъектов Российской Федерации. Учеб. практическое пособие / Под ред. С.И. Носова. Ответственный исполнитель Оглезнев А.К. Москва: Маросейка, 2010. 208 с.

Тарбаев В.А., Янюк В.М., Дорогобед А.А., Шадау Ю.И., Кузниченкова Т.В. Зонирование агроэкологического потенциала территории для оценки сельскохозяйственных угодий Саратовской области // Аграрный научный журнал. 2020. № 4. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i4pp37-43>.

Шехтер К.П., Сапожников П.М. Кадастровая стоимость земель агроландшафтов Краснодарского края // *Использование и охрана природных ресурсов в России*. 2022. № 2. С. 103–109.

Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И., Ефремов В.В. Почвенно-экологическая оценка и бонитировка почв // Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. Москва: Наука, 1991. С. 161–223.

Шпедт А.А., Трубников Ю.Н., Методика оценки природно-ресурсного потенциала агроландшафтов России // Живые и биокосные системы. 2020. № 31. С. 1–13. DOI: [10.18522/2308-9709-2020-31-1](https://doi.org/10.18522/2308-9709-2020-31-1).

Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems // *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. 35. P. 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>.

Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4 // *Geoscientific Model Development*. 2015. Vol. 8. No. 7. P. 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.

Cheng X., Zhou T., Liu S., Sun X., Zhou Y., Xu L., Xie B., Ying J., Shi Y. Effects of Climate on Variation of Soil Organic Carbon and Alkali-Hydrolyzed Nitrogen in Subtropical Forests: A Case Study of Zhejiang Province, China. // *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 5. P. 914. <https://doi.org/10.3390/f14050914>.

Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37. No. 12. P. 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.

Gopp N.V. The Use of the Soil-Geomorphological Database for Studying the Spatial Variability of the Humus Content, Physical Clay, and Clay in the Soils of the Kuznetsk–Salair Geomorphological Province // *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 7. P. 986–998. <https://doi.org/10.1134/S106422932107005X>.

IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2015. <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>

Поступила в редакцию 06.11.2023

Принята 16.11.2023

Опубликована 25.11.2023

Сведения об авторе:

Гопп Наталья Владимировна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, Россия); gopp@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



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

AGROECOLOGICAL POTENTIAL OF THE WESTERN PART OF THE KUZNETSK-SALAIR GEOMORPHOLOGICAL PROVINCE: DIGITAL MAPPING METHODOLOGY, GEOSPATIAL ANALYSIS, CORRELATION WITH SOIL ORGANIC CARBON CONTENT

© 2023 N. V. Gopp 

Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Lavrentieva 8/2, Novosibirsk, Russia. E-mail: gopp@issa-siberia.ru

The aim of the study: *to develop a methodology of digital mapping of the agroecological potential (AP) of the western part of the Kuznetsk-Salair geomorphological province and to conduct a comparative analysis of the studied parameter typical for 12 types and subtypes of soils of the studied territory; to conduct a correlation analysis of the relationship between climatic and geographical indicators and soil organic carbon content.*

Studied area and method. *The studied area occupies the western part of the Kuznetsk-Salair geomorphological province of the Altai-Sayan Mountain country (Russia, Novosibirsk region, Iskitimsky district). The methods of digital mapping, geospatial, correlation and comparative geographical analyses were used in the work.*

Results. *The developed methodology and the use of maps in raster format enabled to identify the pronounced spatial differentiation of the AP, as well as to visualize its spatial change on a digital map. Geospatial analysis showed that AP values varied in the range from 4,5 to 6,0, increasing from the southwest to the northeast of the study area. The change in AP by 0,5 units served as the basis for the allocation of three agro-climatic evaluation subzones. The average AP values, characteristic of the soils, varied in the range from 4,9 to 5,4. The correlation between climatic and geographical parameters (the sum of active air temperatures above 10 °C, the amount of precipitation and evaporation per year, geographical latitude, coefficients of humidification and continentality of the climate) and the organic carbon content were characterized by a moderate and noticeable strength of the relationship.*

Conclusions. *The conducted research allowed: 1) to develop a methodology for digital mapping of agroecological potential and identify eight agro-climatic assessment subzones; 2) to obtain more accurate information about spatial changes in climatic characteristics; 3) to determine the average values of agroecological potential typical for 12 types and subtypes of soils of the studied territory; 4) to identify the relationship between climatic and geographical parameters and the content of organic matter carbon in soils.*

Maps of agroecological potential can be further used for mapping the normative yield of agricultural crops; selection of varieties of crops with certain needs for heat and moisture resources for growth and development; designing adaptive landscape systems of agriculture; assessment of the cadastral cost of agricultural land and the suitability of land for use in agriculture; studying the influence of climatic characteristics on soil and vegetation covers.

Key words: *sum of active air temperatures; humidification coefficient; continentality of climate; soil database; WorldClim; SAGA GIS.*

How to cite: *Gopp N.V. Agroecological potential of the western part of the Kuznetsk-Salair geomorphological province: digital mapping methodology, geospatial analysis, correlation with soil organic carbon content // The Journal of Soils and Environment. 2023. 6(3). e224. DOI: [10.31251/pos.v6i3.224](https://doi.org/10.31251/pos.v6i3.224). (in Russian with English abstract).*

Corrigendum. *This article was modified due to an error detected the software employed for calculating the correction map for the moisture coefficient. As a result, two maps (moisture coefficient and agroecological potential) and Figure 5 changed significantly.*

FUNDING

This study was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project № 121031700316-9).

REFERENCES

Agrochemical Methods of Soil Studies. Moscow: Nauka Publ., 1975. 656 p. (in Russian).

Bulgakov D.S., Rukhovich D.I., Shishkonakova E.A., Vilchevskaya E.V. Separation of agroclimatic areas for optimal crop growing within the framework of the natural–agricultural zoning of Russia. Eurasian Soil Science. 2016. No. 49. P. 1049–1060. <https://doi.org/10.1134/S1064229316070036>.

Gopp N.V. Digital mapping of agroecological potential of the western part of the Kuznetsk-Salair geomorphological province. In book: Soils and Environment: Collection of materials of the All-Russian scientific conference with international participation dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB

- RAS (October 2-6, 2023, Novosibirsk). Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2023. P. 66–70. DOI: [10.31251/conf1-2023](https://doi.org/10.31251/conf1-2023). (in Russian).
- State cadastral assessment of agricultural lands of the Russian Federation / Edited by P.M. Sapozhnikov, S.I. Nosov. Moscow, 2012. 157 p. (in Russian).
- Iskitim Newspaper [Electronic resource]. 2022. URL: <https://goo.su/Jd0FI> (accessed on 04.07.2023). (in Russian).
- Karmanov I.I., Bulgakov D.S. Methodology of soil-agro-climatic assessment of arable land for cadastre. Moscow: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. APR, 2012. 122 p. (in Russian).
- Karmanov I.I., Bulgakov D.S. Landscape and agricultural typification of the territory: a methodological guide. Moscow: RAAS, V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 1997. 48 p. (in Russian).
- Karmanov I.I., Friev T.A. Soil bonitization based on soil-ecological indicators. Pochvovedenie. 1982. No. 5. P. 13–21. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of the USSR. Moscow: Kolos, 1977. 224 p. (in Russian).
- Losev A.P. Workshop on agrometeorological support of crop production. St. Petersburg: Hydrometeoizdat, 1994. 244 p. (in Russian).
- Methodological recommendations for assessing the quality and classification of land according to their suitability for use in agriculture. Roszemkadastr, "Goszemkadastrsemka" – VISHAGI, RosNIIZemproekt, 2003. 170 p. (in Russian).
- Assessment of the quality and classification of lands according to their suitability for use in agriculture. Moscow: Rosnedvizhimost – "Goszemkadastrsemka" – VISHAGI, 2007. 131 p. (in Russian).
- Soil and climatic atlas of the Novosibirsk region. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1978. 122 p. (in Russian).
- Handbook of agro-climatic assessment zoning of the subjects of the Russian Federation. Practical guide / Edited by S.I. Nosov. Responsible executor Ogleznev A.K. Moscow: Maroseyka, 2010. 208 p. (in Russian).
- Tarbaev V.A., Yanyuk V.M., Dorogobed A.A., Shadau Yu.I., Kuznichenkova T.V. Zoning of agroecological potential areas for agricultural land assessment of the Saratov region. The Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 4. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i4pp37-43>. (in Russian).
- Shekhter K.P., Sapozhnikov P.M. Cadastral Value of Agricultural Landscapes of Krasnodar Region. *Use and Protection of Natural Resources of Russia*. 2022. No. 2. P. 103–109. (in Russian).
- Shishov L.L., Durmanov D.N., Karmanov I.I., Efremov V.V. Soil-ecological assessment and soil bonitization. In book: Theoretical foundations and ways of regulating soil fertility. Moscow: Nauka Publ., 1991. P. 161–223. (in Russian).
- Shpedt A.A., Trubnikov Yu.N., Methodology for assessing the natural resource potential of agricultural landscapes of Russia. Zhivye i biokosnye sistemy. 2020. No. 31. P. 1–13. DOI: [10.18522/2308-9709-2020-31-1](https://doi.org/10.18522/2308-9709-2020-31-1). (in Russian).
- Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*. 2015. 35. P. 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>.
- Conrad O., Bechtel B., Bock M., Dietrich H., Fischer E., Gerlitz L., Wehberg J., Wichmann V., Böhner J. System for automated geoscientific analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geoscientific Model Development*. 2015. Vol. 8. No. 7. P. 1991–2007. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.
- Cheng X., Zhou T., Liu S., Sun X., Zhou Y., Xu L., Xie B., Ying J., Shi Y. Effects of Climate on Variation of Soil Organic Carbon and Alkali-Hydrolyzed Nitrogen in Subtropical Forests: A Case Study of Zhejiang Province, China. *Forests*. 2023. Vol. 14. No. 5. P. 914. <https://doi.org/10.3390/f14050914>.
- Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2017. Vol. 37. No. 12. P. 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- Gopp N.V. The Use of the Soil-Geomorphological Database for Studying the Spatial Variability of the Humus Content, Physical Clay, and Clay in the Soils of the Kuznetsk–Salair Geomorphological Province. *Eurasian Soil Science*. 2021. Vol. 54. No. 7. P. 986–998. <https://doi.org/10.1134/S106422932107005X>.
- IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 2015. <https://www.fao.org/3/i3794en/i3794en.pdf>

Received 06 November 2023

Accepted 16 November 2023

Published 25 November 2023

About the author:

Gopp Natalya Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher in the Laboratory of Geography and Soil Genesis in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); gopp@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/)