

## ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.4

### ВЛИЯНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА НА ГУМУСОНАКОПЛЕНИЕ В ПОЧВАХ СУХИХ СТЕПЕЙ ТУВЫ

© 2022 г. Е. А. Гуркова<sup>а</sup>, \*, Д. А. Соколов<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр-т Лаверентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 Россия

\*e-mail: gurkova@issa-siberia.ru

Поступила в редакцию 28.04.2021 г.

После доработки 22.07.2021 г.

Принята к публикации 30.07.2021 г.

Работа посвящена оценке ресурсов и потенциала гумусонакопления почв сухих степей Центрально-Тувинской и Турано-Уюкской котловин Тувы. Методической основой послужили исследования об органо-минеральных взаимодействиях как основном механизме стабилизации органического вещества и его накопления в почве. Представлены результаты оценки возможности накопления почвами гумуса в зависимости от запасов физической глины – гранулометрического потенциала гумусонакопления. Установлено, что гумусонакопление в регионе, в специфических биоклиматических условиях, лимитируется ограниченными ресурсами фракции физической глины. В результате, несмотря на большие объемы поступающих растительных остатков, почвы характеризуются невысоким содержанием и запасами гумуса. Показано, что в каштановых почвах (Cambisols) гранулометрический потенциал гумусонакопления реализован не полностью – менее 100%. В черноземах (Chernozems) в существующих биоклиматических условиях потенциал реализован максимально. Предложенный методический подход позволяет учитывать современные процессы дефляции почв, оценивать объем потерь физической глины и гумуса, необходимые меры по восстановлению плодородия почв, что весьма актуально для засушливого региона.

**Ключевые слова:** физическая глина, гумус, черноземы, каштановые почвы, деградация почв, восстановление почв, гранулометрический потенциал накопления гумуса

**DOI:** 10.31857/S0032180X22010063

#### ВВЕДЕНИЕ

Гумусонакопление как один из ключевых почвообразующих процессов реализуется в ходе гумификации и минерализации поступающих растительных остатков [24, 30, 37, 57, 59, 65]. Для их эффективного осуществления необходимы ресурсы и условия, которые в совокупности обуславливают потенциал почвы к аккумуляции гумуса (органического вещества). Общепринято, что для процесса накопления органического вещества важны качество и объем поступающего растительного материала, биологическая активность микро- и мезофауны, а также климатические условия [66, 67, 74]. Большое значение имеют литологические условия, в частности, гранулометрический состав почвы и почвообразующего субстрата. Важность этого фактора исходит из представлений об органо-минеральных взаимодействиях как способе закрепления и стабилизации органических веществ в почве [2, 14, 38, 45, 53, 54]. Основной механизм стабилизации – связывание новообразованных органических соединений с минеральными и органо-минеральными частицами почвы [68]. Наибольшую активность в

этом механизме проявляют глинистые минералы, сосредоточенные во фракциях ила и физической глины [59]. Среди них наиболее эффективными для стабилизации считаются смектиты, удельная поверхность которых больше, а размер частиц меньше по сравнению с каолинитами и иллитами [70]. Поскольку количество глинистых частиц неодинаково для различных почв, их потенциал к накоплению гумуса также имеет разные пределы [61, 71]. Следовательно, гранулометрический потенциал гумусонакопления, который мы понимаем как способность фракции физической глины почвы аккумулятировать максимально возможное количество органического вещества в наиболее благоприятных климатических условиях, можно оценить количественно. Это представляет теоретический и практический интерес, например, для оценки устойчивости почв к деградации и для прогноза возможности восстановления плодородия деградированных сельскохозяйственных земель.

В Туве проблема деградации почв сельскохозяйственных территорий стоит особо остро. Экстенсивное земледелие в условиях аридного резко континентального климата и интенсивной дефляции

обуславливает высокие темпы дегумификации [18, 35, 48], что приводит к ухудшению гумусного состояния почв, снижает продуктивность и качество сельскохозяйственных земель. Минимизация этих процессов, восстановление плодородия почв имеют значение не только с экологической точки зрения, но и с позиции продовольственной безопасности республики, которая закреплена в стратегии ее экономического развития [42]. Определение способности почв к накоплению гумуса и восстановлению плодородия позволит не только оценить необходимый объем ресурсов глинистых частиц для этого, но и выяснить полноту его использования, что представляет основу для прогноза восстановления почв и разработки алгоритма мероприятий, которые могут быть рекомендованы землепользователям. С учетом отмеченного, целью настоящей работы определена оценка ресурсов и гранулометрического потенциала гумусонакопления почв сельскохозяйственных территорий Тувы.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве района исследования выбраны Центрально-Тувинская и Турано-Уюкская котловины, в которых сосредоточены основные площади пригодных для сельского хозяйства земель республики. Объектами выбраны каштановые и черноземные почвы разного гранулометрического состава, мощности, на различных почвообразующих породах. Эти почвы являются наиболее распространенными в исследуемых районах [17, 27]. Названия почв даны по классификации версии 1977 г. [22] для удобства сопоставления данных разных лет и разных источников. По классификации почв России [23, 32] объектам исследования соответствуют каштановые, криоаридные и бурые аридные почвы, черноземы дисперсно- и текстурно-карбонатные, песчаным разновидностям каштановых и светло-каштановых почв на эоловых песках соответствуют псаммоземы, горным почвам – петроземы, литоземы светло- и темно-гумусовые. В соответствии с международной коррелятивной базой почвенных ресурсов [62], каштановым почвам тувинских котловин ориентировочно соответствуют Kastanozems, Cambisols и Calcisols, Arenosols на песчаных эоловых массивах, черноземам – Chernozems.

Для анализа и расчетов использовался аналитический материал, полученный авторами в ходе многолетних исследований (2006–2019 гг.), учтен фондовый материал (отчеты почвенных обследований хозяйств Центральной Тувы ВостНИИГИ-ПРОЗЕМ), а также опубликованные в разные годы данные о содержании гумуса и физической глины (>0.01 мм) в почвах котловин [5, 6, 18, 26, 32].

В качестве методической основы был выбран подход к оценке гранулометрического потенциа-

ла гумусонакопления (ГПГ), под которым понимается способность фракции физической глины почвы аккумулировать максимально возможное количество органического вещества при наиболее благоприятных климатических условиях. Такой подход предполагает оценку ГПГ по содержанию физической глины и гумуса в гумусово-аккумулятивном горизонте почв [40, 41]. Методы определения содержания гумуса и гранулометрического состава, как для собственных исследований авторов, так и в фондовых и опубликованных данных, общеприняты: содержание общего органического углерода определено методом мокрого сжигания по Тюрину с дальнейшим пересчетом на гумус; гранулометрический состав – по Качинскому [1, 20]. Следует уточнить, что при расчетах мы оперируем понятием “гумус” в традиционном его смысле [29, 73], поскольку такой подход позволяет ретроспективно сравнивать данные о содержании гумуса в различных почвах и ранее опубликованных и фондовых данных.

Расчет предполагает сравнение с почвой, в которой гранулометрический потенциал максимально реализован. В качестве таковой выбраны выщелоченные черноземы Кузнецкой котловины, которые при содержании физической глины 55% способны накапливать до 12% гумуса [46]. Такой выбор определен рядом аспектов: с одной стороны, черноземы считаются наиболее удачным выбором для эталонирования, поскольку “отличаются оптимальными условиями для гумификации” [29, с. 235]. С другой стороны, Кузнецкие черноземы формируются в относительно благоприятных для южно-сибирских котловин биоклиматических условиях и фациально ближе к тувинским почвам, чем европейские и к тому же являются максимально гумусированными почвами Сибири. Для расчета ГПГ нами предложена следующая формула:

$$\text{ГПГ} = R(\varepsilon) \times R(\text{т. ф.}), \quad (1)$$

где ГПГ – гранулометрический потенциал гумусонакопления, %;  $R(\varepsilon)$  – максимальное количество гумуса в черноземах Кузнецкой котловины;  $R(\text{т. ф.})$  – коэффициент специфичности исследуемых почв по содержанию физической глины (в долях от 1).

В формуле (1) расчета ГПГ учитывается постоянная величина  $R(\varepsilon)$ , соответствующая максимально возможному количеству гумуса, которое может аккумулировать чернозем – 12%. Основной вклад в формулу (1) вносит коэффициент специфичности по содержанию физической глины  $R(\text{т. ф.})$ . Расчет коэффициента ведется по соотношению фактического содержания глины в искомой почве и в тяжелосуглинистом кузнецком черноземе, взятом для сравнения, – 55%, измеряется в долях от 1 и иллюстрирует, насколько реальное содержание фракции отличается от срав-

**Таблица 1.** Общая характеристика почвообразующих отложений Турано-Уюкской и Центрально-Тувинской котловин (для верхней толщи отложений, по данным ВОСТНИИГИПРОЗЕМ, 1985–1991 гг.)

Тип отложений	Характер материала	Содержание глинистой фракции, %	Емкость поглощения, мг-экв/100 г
Элювиально-делювиальные	Грубообломочный, щебнисто-дресвянистый, щебнистый с песчано-суглинистым наполнителем	15.9	16
Делювиальные и делювиально-пролювиальные	Карбонатный супесчаный, суглинистый, глинистый, насыщен щебнисто-дресвянистыми включениями	18.1	9.5
Пролувиальные и аллювиально-пролювиальные	Валунно- и щебнисто-галечниковый, с примесью песка и суглинка (вершины конусов выноса), супесчано-глинистый засоленный карбонатный (в периферических частях)	16.7	17.8
Эоловые	Крупно- и мелкозернистые кварцевые, разной степени сортированности и промывости полимиктовые пески, пылеватые супеси	3.1	–

ниваемого значения. Следует уточнить, что при оценке использованы данные по содержанию физической глины – частиц размером менее 0.01 мм (в процентах от общей суммы всех фракций мелкозема). Поскольку фракция ила (частицы менее 0.001 мм) является основным “агентом” связывания гумуса с минеральной частью, при этом доля участия есть и у мелкой, и средней пыли [2, 58], принимаем, что расчет коэффициента специфичности по физической глине учитывает потенциал всех фракций, участвующих в органо-минеральных взаимодействиях. Произведение коэффициента  $R$ (т. ф.) и постоянной величины  $R$ (э) (1) позволяет получить величину ГПГ (в процентах) и количественно оценить степень реализации физической глиной конкретной почвы процесса гумусонакопления.

Для полноты анализа потенциала для территории Центрально-Тувинской и Турано-Уюкской котловин также выполнена графическая интерпретация полученных результатов. Картографическая обработка проведена на государственной картографической основе, границы почвенных контуров уточнялись по почвенным картам ВОСТНИИСИБГИПРОЗЕМ из фондов ФГУ ГСАС “Тувинская” (г. Кызыл) масштабов 1 : 100000 и 1 : 500000. Оцифровка карт проведена в Corel Draw X3, привязка – в ArcGIS 2.0. Статистическая обработка массива данных выполнена с помощью MS Excel 2007 и PAST 2.17.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как следует из формулы (1), для оценки гранулометрического потенциала гумусонакопления необходимо определить обеспеченность ресурса-

ми, за счет которых он реализуется, и, прежде всего, ресурсами физической глины. Содержание тонкодисперсных частиц в почве во многом определяется минералогическим и гранулометрическим составом почвообразующих пород и характером выветривания [8]. В рассматриваемых межгорных котловинах Тувы почвообразующим субстратом для автоморфных почв выступают рыхлые континентальные отложения четвертичного возраста и различного генезиса (табл. 1) [3, 10]. При всем разнообразии их объединяет ряд общих черт, одна из которых – большое количество грубообломочного материала, который поступал в котловины в ходе интенсивного эрозионного расчленения территории. В процессе транспортировки происходила главным образом механическая дезинтеграция и сортировка пород, способствовавшая фракционированию материала по степени крупности и окатанности [7]. Следствием такой переработки является преимущественно легкий гранулометрический состав почвообразующих пород. Доля крупных фракций (более 0.01 мм) превышает 80%, часто присутствуют частицы крупнее 1 мм. В составе физической глины разных групп отложений не отмечается выраженного преобладания какой-либо одной фракции, за исключением пролювия, для которого выявлена слабая тенденция к повышенному содержанию ила, что закономерно, если учитывать участие водных потоков в формировании этой группы отложений. Отложения тяжелого гранулометрического состава (глины, лёссовидные суглинки) распространены в котловинах очень ограниченно, на участках конусов выноса и древних террас; суглинистый/глинистый материал встречается также в виде прослоев и заполнителя в толще отложений [3]. Другой общей особен-

стью четвертичных отложений котловин является слабая трансформация минералогического состава их тонкодисперсной части, в которой практически отсутствуют разбухающие минералы. Преобладают гидрослюды и хлориты, очень редко хлорит-сметитовые образования [6, 7]. Такой состав глинистых минералов иллюстрирует низкую интенсивность внутрпочвенных процессов химического выветривания, а также трансформации минералов коренных пород в процессе литогенеза. Вследствие легкого гранулометрического состава пород, а также низкой доли разбухающих минералов, почвообразующие породы в котловинах Тувы отличаются низкой емкостью поглощения.

Свойства субстрата наследуются сформированными на них почвами. Легкий гранулометрический состав, скелетность – типичные свойства почв межгорных котловин Тувы. Отмечена закономерность: утяжеление гранулометрического состава, которое происходит в ряду от бурых полупустынных и светло-каштановых почв к обыкновенным черноземам [12, 13]. Выявлено усиление скелетности для почв периферических частей котловин (низкогорий и мелкосопочных массивов), в то время как на аккумулятивных равнинах центральных частей (конусы выноса, шлейфы) доля скелета существенно меньше, а слой сплошного щебня/галечника в профиле залегает глубже [12, 36]. Наиболее мощные суглинистые почвы распространены здесь отдельными контурами, приуроченными к полосе шлейфов вдоль южных, наиболее увлажняемых бортов котловин. В целом доля физической глины в каштановых и черноземных почвах здесь редко превышает 40% (табл. 2). Для сравнения, в черноземах Кузнецкой котловины на лёссовидных суглинках содержание этой фракции может достигать 55% [46], в черноземах Минусинских котловин на аналогичных породах – 50% [43].

В Центрально-Тувинской котловине широко распространены массивы закрепленных и полужакрепленных эоловых песков четвертичного возраста, на которых сформированы маломощные песчаные каштановые почвы, в гранулометрическом составе которых доля физической глины составляет менее 5%. Необходимо указать, что в целинных почвах котловин наиболее тяжелый гранулометрический состав отмечен в верхней полуметровой толще, а с глубиной происходит его облегчение, зачастую резкое. Это еще одна особенность степных тувинских почв, обусловленная вертикальной неоднородностью подстилающих пород.

Таким образом, ресурсы фракции физической глины в автоморфных почвах котловин можно охарактеризовать как дефицитные, лимитирующие реализацию процесса гумусонакопления. Разными исследователями [5, 21, 28, 36, 50] легкий

гранулометрический состав указывался в качестве одной из причин невысокой гумусности почв тувинских засушливых котловин. Но не единственной. Унаследованные от отложений особенности минералогического состава почв также лимитируют гумусонакопление. Преобладание гидрослюды и хлорита в составе глинистых минералов и отсутствие каолинита и монтмориллонита значительно снижают способность почв к стабилизации органического вещества [64, 70].

Свой вклад вносит и комплекс продукционно-деструкционных процессов, протекающих в степях котловин в условиях засушливого климата. Интенсивность процессов образования и накопления гумуса определяется количеством, качеством растительного материала и микробиологической активностью. В котловинах республики преобладают степи. Их общими чертами является видовая обедненность, а также средняя и низкая продуктивность (по общей фитомассе) [9]. Доминанты – дерновинные злаки (ковыли (*Stipa*), овсец (*Helictotrichon*), житняк (*Agropyron*), тонконог (*Koeleria*), овсяница (*Festuca*), мятлики (*Poa*), змеевка (*Cleistogenes*)) и осоки (*Carex*), отличаются значительным развитием и густотой корневой системы [44]. Корни составляют до 80–90% от общей фитомассы и являются основным поставщиком органического вещества в почвы [26]. Корневая система дерновинных злаков и осок распределяется преимущественно горизонтально в приповерхностном слое почвы: от 50 до 90% корней сосредоточены в слое 0–20 см [6, 9, 44]. Специфично и соотношение живой и отмершей подземной растительной массы: в настоящих и сухих степях это соотношение близко к единице. При нарастании аридности оно сдвигается в сторону отмерших растительных остатков. Максимальная продуктивность живой корневой массы в почвах достигается к середине, отмерших корней – к концу вегетационного сезона [26, 44]. При этом процессы отмирания усиливаются во время засухи, наибольшая скорость отмирания фиксируется для корней, расположенных близко к поверхности [47]. В целом продукционно-деструкционные процессы в степях в надземном и подземном ярусах не синхронизированы и сильно зависят от внутрисезонной и межгодовой динамики [26, 44]. За счет этого обеспечивается некоторая устойчивость степей и относительная стабильность во времени процессов гумусонакопления и гумусообразования, что позволяет поддерживать у почв определенный гумусный статус.

Качество поступающих в почву растительных остатков также имеет значение. В сходных климатических условиях большая интенсивность разложения отмечается для растительного материала, в составе которого содержатся легкоразлагаемые соединения, например протеины. В тувинских степях большое количество легкоразлагаемого вещества,

**Таблица 2.** Содержание глинистых частиц и гумуса в почвах Центрально-Тувинской и Турано-Уюкской котловин

Тип и подтип почв	Разновидность почв	n	Содержание, %	
			физической глины	гумуса
Горные черноземы	Легкосуглинистые	6	$\frac{22.1}{20.1-24.6}$	$\frac{6.3}{3.9-8.3}$
	Супесчаные	4	$\frac{12.7}{10-18.3}$	$\frac{6.9}{5.48-9}$
Горные каштановые	Легкосуглинистые	13	$\frac{22.8}{20-26.6}$	$\frac{31.9}{1-4.7}$
	Супесчаные и песчаные	15	$\frac{14.9}{11.1-19.6}$	$\frac{2.2}{1.18-4.3}$
Черноземы обыкновенные	Среднесуглинистые	3	$\frac{32.0}{31.0-34.0}$	$\frac{8.0}{7.2-8.6}$
	Легкосуглинистые	15	$\frac{25.6}{21.3-30}$	$\frac{8.4}{5.61-12.9}$
	Супесчаные	2	$\frac{14}{11.1-17}$	$\frac{5.6}{5.2-6.03}$
Черноземы южные	Среднесуглинистые	3	$\frac{33.0}{31.0-33.0}$	$\frac{6.5}{6.2-6.8}$
	Легкосуглинистые	12	$\frac{23.4}{20.2-28.5}$	$\frac{5.6}{3.3-6.8}$
	Супесчаные	5	$\frac{13.5}{11.6-15.9}$	$\frac{4.6}{4-6.1}$
Темно-каштановые	Среднесуглинистые	3	$\frac{32.5}{30.5-34}$	$\frac{3.3}{3-3.5}$
	Легкосуглинистые	17	$\frac{23.7}{21.1-28}$	$\frac{4}{3-5.9}$
	Супесчаные и песчаные	12	$\frac{13.1}{4.9-19.6}$	$\frac{2.4}{0.65-3.5}$
Каштановые	Легкосуглинистые	8	$\frac{22.1}{20.7-25}$	$\frac{2.3}{1.92-2.7}$
	Супесчаные и песчаные	27	$\frac{10.5}{1.6-18.9}$	$\frac{1.6}{0.62-2.6}$
Светло-каштановые	Легкосуглинистые	2	$\frac{27.0}{25.0-29.0}$	$\frac{2.0}{2.0-2.2}$
	Супесчаные и песчаные	3	$\frac{12.5}{10.0-15}$	$\frac{1.1}{1.0-1.9}$
Лугово-черноземные	Легкосуглинистые	8	$\frac{24.4}{20.6-29.3}$	$\frac{7.6}{5.4-10.4}$
	Среднесуглинистые	5	$\frac{36.9}{30.6-46.0}$	$\frac{3.9}{2.3-5.6}$
Лугово-каштановые	Легкосуглинистые	5	$\frac{19.9}{21.1-30}$	$\frac{3.2}{0.9-6.6}$
	Супесчаные	3	$\frac{17.0}{13.9-19.8}$	$\frac{2.8}{2.7-2.9}$

Примечание. Над чертой приведено среднее значение, под чертой – интервал значений min–max.

протеинов содержится в надземной отмершей фитомассе [16, 19]. Корневая фитомасса, наоборот, отличается устойчивостью к разложению за счет присутствия большого количества лигнина и целлюлозы [15, 76]. Разложение целлюлозы осуществляется микробокомплексом, чья активность лимитируется низкой влажностью почв. В изученных котловинах от режима увлажнения зависит период биологической активности в почвах. Коэффициент увлажнения (по Иванову) не превышает 1, а в Центрально-Тувинской котловине уменьшается до 0.5. Наибольшее количество осадков выпадает в основном во второй половине лета (около 160 мм). К этому времени приурочен интенсивный прирост корневой массы, резко усиливается микробиологическая активность, а ближе к концу лета нарастает объем отмершей корневой массы. Этот период относительно краткий, и даже при участии герпето- и педобионтов, растительные остатки не успевают гумифицироваться. В засушливые периоды активность микроорганизмов и биоты резко сокращается, процессы разложения/минерализации/гумификации затормаживаются. В осенне-зимне-весенний период почва находится в состоянии засухи, сильно промерзает, растительные остатки высушиваются, претерпевают консервацию. Волковинцер [4], вслед за Куминовой [25], называл этот процесс “мумификацией”. При наступлении очередного теплого периода, усилении влажности, повышении температуры и поступлении свежего растительного материала происходит стремительная активизация деятельности микро- и мезофауны, процессов минерализации отмершего материала, новообразованного гумуса и образование “свежего” гумуса [26].

Формирование в почвах комплекса органо-минеральных соединений – основной результат гумусообразования [14]. Новообразующиеся гумусовые вещества стабилизируются путем связывания с минеральными и органо-минеральными частицами [38, 39, 52, 63, 69]. Ил и физическая глина концентрируют большую часть органического вещества, связанного в органо-минеральные комплексы. Крупные фракции включают органическое вещество, представленное слаборазложившимся (возможно, мумифицированным) материалом и не связанное с минеральной матрицей, накопление которого регулируется гидротермическими условиями [2]. Исходя из этого, лимитирующим фактором для накопления гумуса будут не только общие ресурсы физической глины (доля в общем гранулометрическом составе), но и определенная емкость самих частиц [58]. То есть органо-минеральные взаимодействия будут происходить, и гумус будет накапливаться до тех пор, пока позволит потенциал минеральной фракции.

Считается, что основной фонд гумуса в почвах Тувы – стабильный, закрепленный в минеральной матрице (до 60%) [18, 19]. Наиболее гумуси-

рованные почвы – черноземы. Целинные тучные черноземы среднемощные среднесуглинистые, по данным Носина [28] содержали в верхних 10–15 см более 10% гумуса. Собранный массив данных о количестве гумуса в черноземах показал довольно широкий интервал значений (табл. 2). Наиболее гумусированные черноземы (более 8% гумуса) встречаются в настоящее время крайне редко (особенно после длительного периода возделывания земель) в более увлажняемых районах – вдоль южного борта Турано-Уюкской котловины и в южной, юго-восточной прибортовой части Центрально-Тувинской котловины [12].

Гумус в каштановых почвах присутствует в меньших количествах – 1–4%. В среднем содержание гумуса в суглинистых разновидностях каштановых почв близко к таковому, отмеченному для каштановых почв южно-сибирских котловин [11, 33, 43]. Максимальное его содержание сконцентрировано в верхних 20–30 см, что коррелирует с объемом корневой фитомассы. Общая мощность гумусированной толщи (с количеством гумуса больше 1%) не превышает 50 см, но в среднем варьирует в пределах 15–25 см. Минимальное количество гумуса характерно для песчаных почв, в которых физическая глина практически отсутствует. Таким образом, количество гумуса в почвах тувинских котловин широко варьирует. В соответствии с градацией, принятой в действующей классификации [23], изученные черноземы по содержанию гумуса относятся к средне- и сильногумусным, а каштановые почвы – к мало- и среднегумусным.

Исходный дефицит ресурсов физической глины в изученных почвах, при вовлечении их в сельскохозяйственный оборот (распашка, использование в качестве пастбищ), еще сильнее усугубляется, обуславливая дегумификацию и сокращение и без того невысокого запаса гумуса [51]. В том числе за счет того, что связь органического вещества с минеральной частью не является необратимой и во многом зависит от гидротермического режима [14], который здесь неустойчив. Основной фактор деградации сельскохозяйственных земель в регионе – дефляция – способствует выносу тонкодисперсных частиц и гумуса, связанного с ними, то есть сокращает ресурс фракции физической глины. В дальнейшем восстановление плодородия может занимать длительное время и осуществляться за счет слаборазложившегося органического вещества, связанного с крупными фракциями [2]. Оно, как правило, не образует органо-минеральные связи. Поэтому происходят резкие колебания общего содержания гумуса в почве, что сказывается на продуктивности агроценозов [47].

Естественно предположить, что для образования органо-минеральных связей и стабилизации

**Таблица 3.** Коэффициент специфичности, ГПГ и полнота его использования в основных подтипах и разновидностях изученных почв

Тип и подтип почв	Разновидность почв	<i>n</i>	<i>R</i> (т.ф.)	ГПГ, %*	ПИ ГПГ, %**
Горные черноземы	Легкосуглинистые	6	0.4	4.8	131.3
	Супесчаные	4	0.23	2.8	246.4
Горные каштановые	Легкосуглинистые	13	0.4	4,8	62.5
	Супесчаные и песчаные	15	0.27	3,2	68.8
Черноземы обыкновенные	Среднесуглинистые	3	0.58	7	114.3
	Легкосуглинистые	15	0.46	5.5	152.7
	Супесчаные	2	0.25	3	186.7
Черноземы южные	Среднесуглинистые	3	0.6	7.2	90.3
	Легкосуглинистые	12	0.42	5	112.0
	Супесчаные	5	0.25	3	153.3
Темно-каштановые	Среднесуглинистые	3	0.59	7.1	46.5
	Легкосуглинистые	17	0.43	5.2	76.9
	Супесчаные и песчаные	12	0.24	2.9	82.8
Каштановые	Легкосуглинистые	8	0.4	4.8	47.9
	Супесчаные и песчаные	27	0.19	2.3	69.6
Светло-каштановые	Легкосуглинистые	2	0.5	6	33.3
	Супесчаные и песчаные	3	0.23	2,8	39.3
Лугово-черноземные	Легкосуглинистые	8	0.44	5.3	143.4
	Среднесуглинистые	5	0.67	8	48.8
Лугово-каштановые	Легкосуглинистые	5	0.36	4.3	74.4
	Супесчаные	3	0.31	3.7	75.7

\* Гранулометрический потенциал гумусонакопления.

\*\* Полнота использования гранулометрического потенциала гумусонакопления.

гумуса необходимо восстановление ресурсов физической глины, например, путем внесения содержащих смектиты глинистых субстратов в целях повышения гранулометрического потенциала гумусонакопления [60, 64, 70, 72]. Его оценка на основании данных о содержании физической глины и гумуса в почве позволила рассчитать коэффициент специфичности гранулометрического состава  $R$ (т.ф.) (табл. 3). Доля физической глины в тувинских почвах гораздо меньше значения, взятого в качестве сравнения. Следовательно, коэффициент специфичности, рассчитанный по соотношению фактического и сравниваемого значений, не превышает единицы и варьирует в узком диапазоне – от 0.23 до 0.59.

Используя полученные данные, произвели расчет ГПГ для почв Центрально-Тувинской и Турано-Уюкской котловин. Значения ГПГ варьируют в пределах от 2.3 до 8%, разброс несколько уже, чем реальное содержание гумуса. Разница в этих значениях иллюстрирует насколько реализован потенциал гумусонакопления в данной почве и описывается через полноту использования потенциала гумусонакопления (ПИ ГПГ), расчет которого выполнен по формуле:

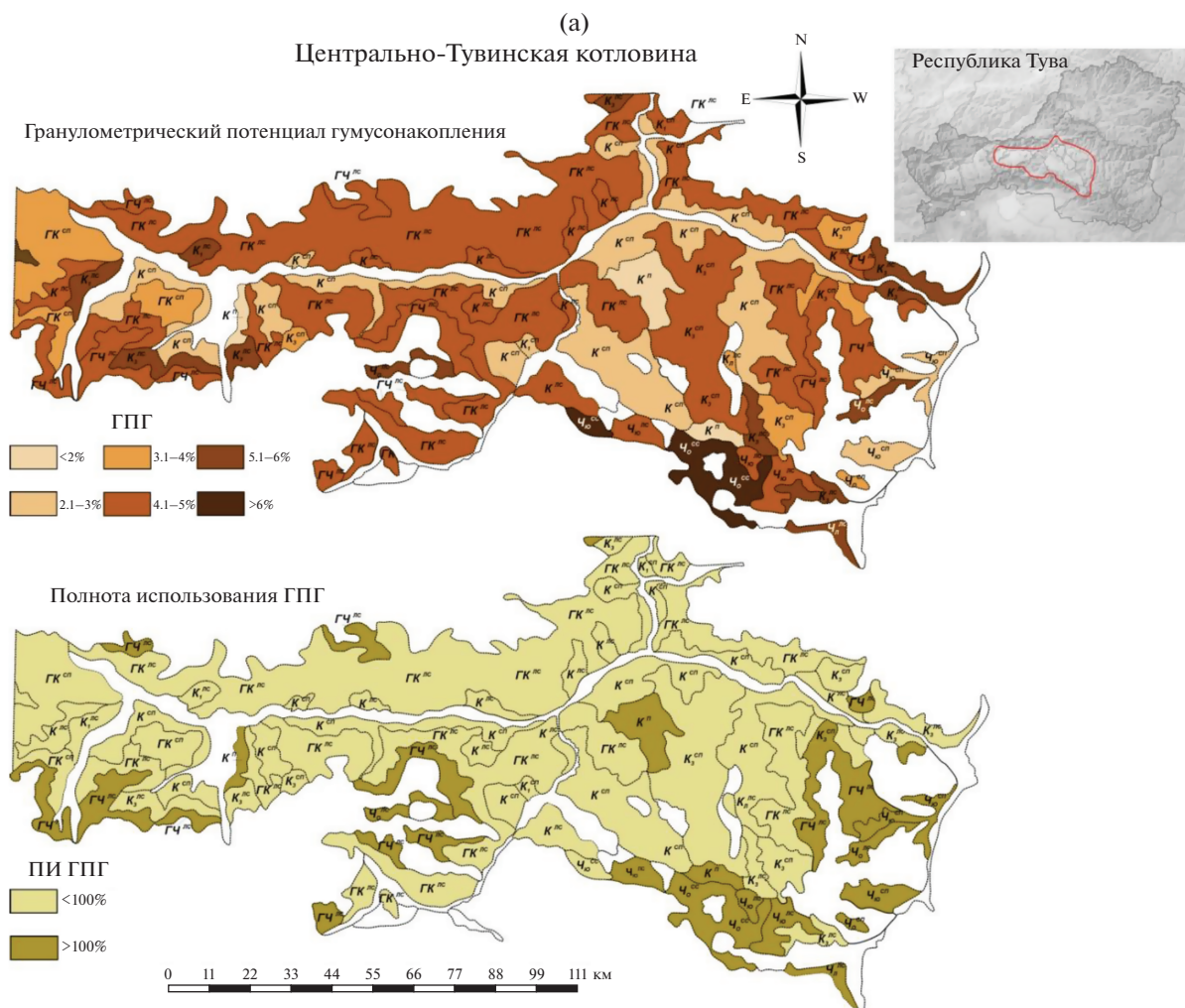
$$\text{ПИ ГПГ, \%} = (\text{гумус} \times 100\%) / \text{ГПГ}, \quad (2)$$

где над чертой вводится значение, равное фактическому содержанию гумуса в данной почве (%),

а под чертой – значение, равное величине ГПГ для этой почвы (%). При расчетах величина ПИ ГПГ может быть как меньше, так и больше 100%.

Сравнительный анализ ГПГ с фактическим содержанием гумуса, выполненный по расчетам ПИ ГПГ, выявил ряд важных моментов. Так, для типа каштановых почв установлено, что текущие ресурсы физической глины не используются полностью – ПИ ГПГ меньше 100%. Как видим, фактическое содержание гумуса в них существенно меньше ГПГ. То есть в существующих биоклиматических условиях и при имеющихся ресурсах физической глины полная реализация потенциала затруднена. При этом наименьший разрыв значений гумуса и ГПГ наблюдается в супесчаных и песчаных разновидностях почв.

Для черноземов отмечена иная тенденция. Их потенциал реализован практически полностью, и фактическое содержание гумуса превышает значения ГПГ (кроме среднесуглинистых разновидностей южных черноземов). То есть имеющиеся ресурсы физической глины задействованы полностью, а накопленное сверх 100% вещество, вероятно, представляет собой нестабилизированное, слаборазложившееся органическое вещество. При этом наиболее близки к значению 100% полноты использования легкосуглинистые черноземы, которые в условиях Тувы могут считаться биоклиматическим эталоном/нормой. Накоп-



**Рис. 1.** Гранулометрический потенциал гумусонакопления и полнота его использования в почвах Центрально-Тувинской (а) и Турано-Уюкской (б) котловин.

ление гумуса в черноземах происходило в более благоприятных (климатических, фитоценологических) условиях. На целинных участках, в современных условиях Тувы эти почвы, возможно, находились бы в квазистабильном состоянии, но продолжали бы накопление гумуса, как это отмечается для современных черноземов европейской части России [49]. Для каштановых почв современные условия гумусонакопления региона не являются благоприятными, хотя их ресурсы еще не исчерпаны. В связи с этим дегумификация черноземов и каштановых почв представляется катастрофическим процессом. Восстановление их плодородия до целинного состояния без дополнительных мер может быть затяжным процессом, учитывая тренд усиления аридизации региона [31, 55, 56, 75].

Для более полного пространственного анализа составлена картографическая схема дифференциации почв с разными величинами ГПГ и пол-

ноты использования по территории котловин (рис. 1). Как видим, наиболее высокий потенциал гумусонакопления характерен для почв Турано-Уюкской котловины, что естественно в связи с ее более благоприятными климатическими условиями. В Центрально-Тувинской котловине почвы с высоким потенциалом приурочены к ее южному и юго-восточному бортам. Рисунок полноты использования ГПГ существенно отличается от рисунка ГПГ. Преобладают почвы с нереализованным потенциалом, чей ПИ меньше 100%. Почвы с реализованным потенциалом (ПИ больше 100%) также обнаруживают приуроченность к наиболее благоприятным по условиям участкам котловин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные о потенциале тувинских почв к накоплению гумуса позволяют сделать не-



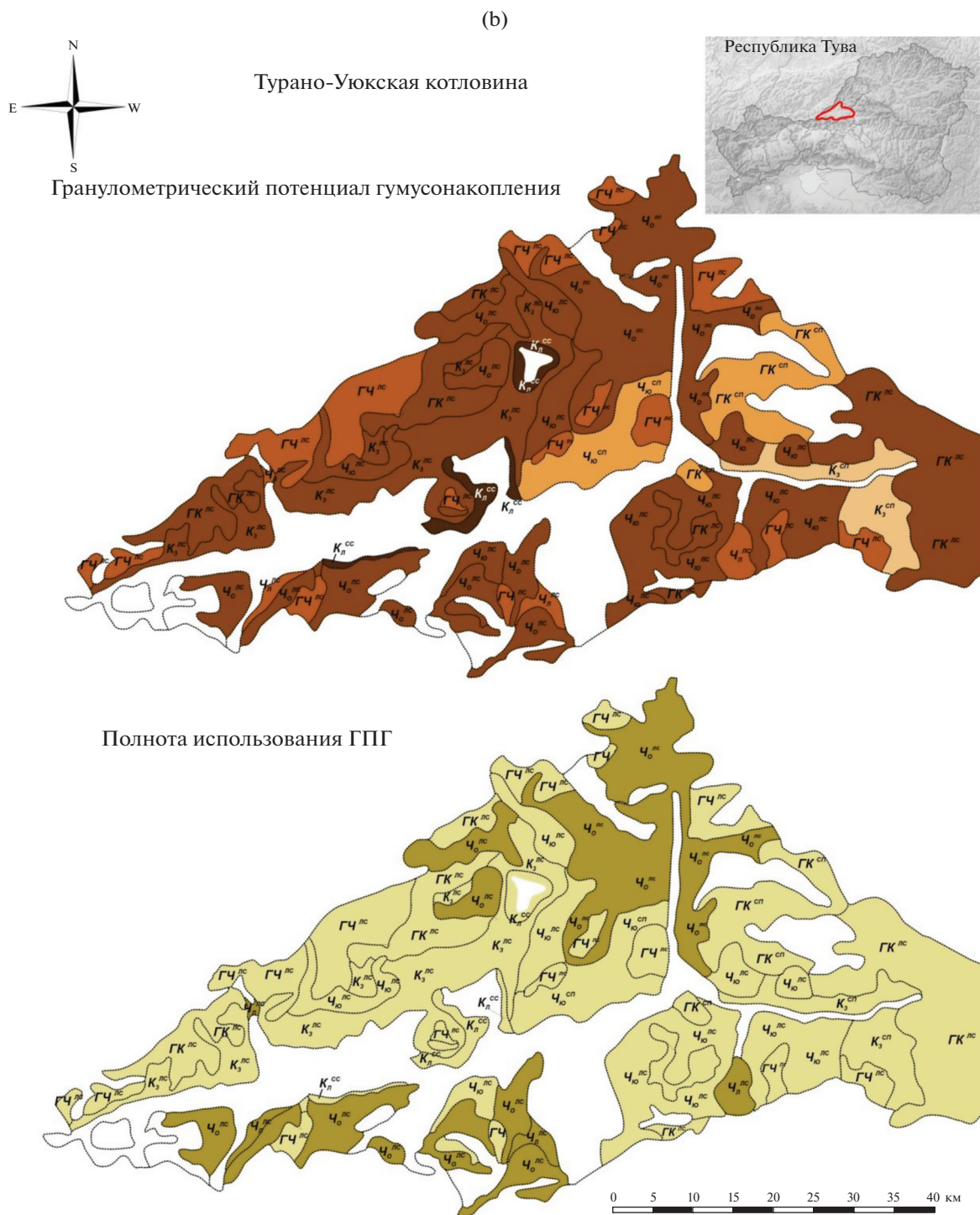


Рис. 1. Окончание

скольких важных выводов. Один из них о недостаточности ресурсов, участвующих в образовании и накоплении гумуса в сухостепных почвах тувинских котловин, как литогенных, так и климатогенных. Разумеется, в локальных местообитаниях, где складывается оптимальное сочетание фак-

торов, формируются почвы с высоким ГПГ и полнотой его реализации. Однако в целом сухостепные котловины Тувы дефицитны с точки зрения ресурсов гумусонакопления и, прежде всего, литогенных – фракции физической глины. Другой вывод: оценка ГПГ и полноты его использова-

ния позволяет оценить влияние на темпы гумусонакопления современных процессов дефляции, особенно в почвах, используемых в земледелии или находящихся в залежах. Сравнительный анализ ГПГ дефлированных почв и ГПГ целинных нарушенных почв позволит оценить объем потерь физической глины и гумуса. На основании этих данных открываются возможности для составления рекомендаций и комплекса мероприятий по восстановлению утраченного плодородия. Последнее особенно важно с точки зрения продовольственной безопасности, к которой стремится регион в рамках стратегии развития. И в конечном счете, на взгляд авторов, представленный подход к оценке ГПГ довольно прост и оперативен в использовании, он позволяет учитывать реальные свойства почв, не требует больших затрат, предусматривает использование традиционных лабораторно-аналитических методов и приборов. Не исключается и дальнейшее усовершенствование предлагаемого метода и расширение доказательной базы.

Перспектива оценки ресурсов накопления гумуса в Туве представляется ясной как с экологической, так и с экономической точек зрения. В первом случае определение потенциала гумусонакопления почв в регионе, испытывающем усиление аридизации, позволит в широком смысле (с привлечением дополнительных данных) спрогнозировать потенциал восстановления и увеличения количества гумуса (и углерода) в почвах, что является актуальным в связи с действием государственных программ и участия России в глобальной программе по снижению выбросов CO<sub>2</sub>. С экономической точки зрения, оценка гранулометрического потенциала гумусонакопления в почвах сельскохозяйственных районов Тувы позволит повысить эффективность внедряемых программ ландшафтно-адаптивного земледелия и оценить экономический эффект от почвенно-восстановительных мероприятий.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН № 121031700316–9.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ариунушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 491 с.
2. *Артёмьева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.

3. *Борисов Б.А., Минина Е.А.* Стратиграфия четвертичных отложений и оледенений Тувы // Четвертичная геология и палеогеография России. М.: ГЕОС, 1997. С. 33–34.
4. *Волковинцер В.И.* О почвообразовании в степных котловинах юга Сибири // Почвоведение. 1969. № 8. С. 3–11.
5. *Волковинцер В.И.* Особенности гумусообразования в степных почвах экстраконтинентальных районов Сибири // Гумус и его роль в почвообразовании и плодородии почв. 1973. С. 39–40.
6. *Волковинцер В.И.* Степные криоаридные почвы. Новосибирск: Наука, Сиб. отд. 1978. 208 с.
7. *Волковинцер В.И., Градусов Б.П., Чижиков Н.П.* О составе глинистых минералов почв некоторых экстраконтинентальных районов азиатской части СССР // Почвоведение. 1975. № 8. С. 130–138.
8. *Гагарина Э.И.* Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада Русской равнины). СПб: Изд-во СПб. ун-та, 2004. С. 6–22.
9. *Гаджиев И.М., Королюк А.Ю., Титлянова А.А., Андриевский В.С. и др.* Степи Центральной Азии. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 2004. 299 с.
10. Геология СССР. М.: Недра, 1966. Т. XXIX. Тувинская АССР. Ч. 1. 459 с.
11. *Горшенин К.П.* Почвы южной части Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1955. С. 237–554.
12. *Гуркова Е.А.* Специфика дифференциации почвенного покрова Центрально-Тувинской котловины // Сибирский экологический журн. 2009. № 2(16). С. 202–210.
13. *Гуркова Е.А., Кальная О.И.* Естественные причины дифференциации почвенно-экологического состояния Турано-Уюкской котловины // Сибирский экологический журн. 2009. № 5(16). С. 681–686.
14. *Дергачева М.И.* Система гумусовых веществ как основа диагностики палеопочв и реконструкции палеоприродной среды. Новосибирск: Изд-во Сиб. отд. РАН, 2018. 292 с.
15. *Дорофеева Н.А.* Органическое вещество горных почв Тувинской автономной области. Автореф. дис. ... канд. б. н. Новосибирск, 1978. 16 с.
16. *Дубровский Н.Г., Намзалов Б.Б., Ооржак А.В., Куулар М.М.* Флористико-геоботанические и биоэкологические исследования залежной растительности Тувы // Вестник Бурятского государственного университета. Биология. География. 2018. № 1. С. 27–23.  
<https://doi.org/10.18101/2587-7143-2018-1-27-43>
17. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. [электронный ресурс]. М., 2014. <http://infooil.ru/reestr/>.
18. *Жуланова В.Н.* Оценка качественного состояния агропочв Тувы // Отражение био-, гео-, антропо-сферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове. Томск, 2020. С. 223–226.
19. *Жуланова В.Н., Чупрова В.В.* Агропочвы Тувы: свойства и особенности функционирования. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2010. 155 с.

20. *Качинский Н.А.* Механическое и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
21. *Кириллов М.В.* Краткий очерк почв Тувинской автономной области // Уч. зап. Красноярского пед. ин-та, 1953. Т. 2. С. 49–77.
22. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
23. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1997. 223 с.
24. *Козут Б.М., Семенов В.М.* Оценка насыщенности почвы органическим углеродом // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. № 102. С. 103–124. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-102-103-124>
25. *Куминова А.В.* Растительный покров Алтая. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1960. 462 с.
26. *Кыргыз Ч.С.* Круговорот углерода в системе “растение–почва” в степях Убсу-Нурской котловины. Автореф. дис. ... канд. б. н. Томск, 2004. 16 с.
27. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель АСТ, 2011. 632 с.
28. *Носин В.А.* Почвы Тувы. М.: Наука, 1963. 340 с.
29. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. 325 с.
30. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханов Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
31. *Панкова Е.И., Черноусенко Г.И.* Проблема активизации засоления в почвах юга Восточной Сибири и Монголии в связи с аридизацией климата // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2020. № 101. С. 19–45. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-19-46>
32. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
33. Почвы Алтайского края. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 31–74; 242–265.
34. *Савич В.И., Белопухов С.Л., Котенко М.Е., Гукалов В.В., Ильичева П.И., Федорова Т.А.* Агроэкологическая оценка минералогического состава почв // Вестник РУДН. Сер. Агрономия и животноводство. 2016. № 3. С. 30–39.
35. *Савостьянов В.К.* Консервация земель в аридной зоне // Аграрная наука. 2004. № 1. С. 14–16.
36. *Самбуу А.Д., Красноборов И.М., Савостьянов В.В. и др.* Природные условия Республики Тыва. Новосибирск: Гарамонд, 2019. Т. 1. С. 151–250.
37. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А., Тулина А.С.* Минерализуемость органического вещества и углерод-секвестрирующая емкость почв зонального ряда // Почвоведение. 2008. № 7. С. 819–832.
38. *Семенов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
39. *Семенов В.М., Тулина А.С., Семенова Н.А., Иванникова Л.А.* Гумификационные и негумификационные пути стабилизации органического вещества в почве (обзор) // Почвоведение. 2013. № 4. С. 393–407.
40. *Соколов Д.А., Кулижский С.П., Лим А.Г., Гуркова Е.А., Нечаева Т.В., Мерзляков О.Э.* Сравнительная оценка методов определения педогенного органического углерода в углесодержащих почвах // Вестник Томского гос. ун-та. Биология. 2017. № 39. С. 29–43. <https://doi.org/10.17223/19988591/39/2>
41. *Соколов Д.А., Мерзляков О.Э., Доможакова Е.А.* Оценка литогенного потенциала гумусонакопления в почвах отвалов каменноугольных месторождений Сибири // Вестник Томского гос. ун-та. 2015. № 399. С. 247–53. <https://doi.org/10.17223/15617793/399/40>
42. Стратегия социально-экономического развития Республики Тыва до 2030 года [электронный ресурс]. Кызыл: 2018. URL: <https://economy.gov.ru/material/file/e5d7757d02411b83d11bedda5f064078/61218rt.pdf>. (дата обращения: 8.04.2021).
43. *Танзыбаев М.Г.* Почвы Хакасии. М.: Наука, 1993. 256 с.
44. *Титлянова А.А., Косых Н.П., Курбатская С.С., Кыргыз Ч.С., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Самбуу А.Д., Шибарева С.В.* Продуктивность травяных экосистем Тувы // Почвы и окружающая среда. 2020. № 2(3). e110. <https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110>
45. *Травникова Л.С.* Органоминеральные взаимодействия: роль в процессах формирования почв, их плодородия и устойчивости к деградации. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. 295 с.
46. *Хмелев В.А., Танасиенко А.А.* Почвенные ресурсы Кемеровской области и основы их рационального использования. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. 477 с.
47. *Чупрова В.В.* Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах Средней Сибири // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. № 90. С. 96–115. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2017-90-96-115>
48. *Шпедт А.А., Аксенова Ю.В., Жуланова В.Н., Рассыпнов В.А., Ерунова М.Г., Бутырин М.В.* Оценка агрочерноземов Сибири на основе современных подходов // Земледелие. 2019. № 4. С. 8–14. <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10402>
49. Эволюция почв и почвенного покрова. Теория, разнообразие природной эволюции и антропогенных трансформаций почв. М.: ГЕОС, 2015. С. 110–118.
50. *Юрлова О.В.* Некоторые особенности почвообразования в Тувинских степных котловинах // Почвоведение. 1959. № 7. С. 53–60.
51. *Якутин М.В., Андриевский В.С.* Влияние пастбищной нагрузки на комплекс деструкторов в почвах сухих степей Южной Тывы // Сибирский экологический журн. 2011. № 5(17). С. 729–734.
52. *Catoni M., D'amico M., Zanini E., Bonifacio E.* Effect of pedogenic processes and formation factors on organic matter stabilization in alpine forest soils // Geoderma. 2016. V. 263. P. 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.09.005>
53. *Chen C., Leinweber P., Eckhardt K., Sparks D.L.* The composition and stability of clay-associated organic matter along a soil profile // Soil Systems, 2018. V. 2(16). P. 1–16. <https://doi.org/10.3390/soilsystems2010016>

54. *Chen S., Hong H., Huang X., Fang Q., Yin K., Wang C., Zhang Y., Cheng L., Algeo T.J.* The role of organo-clay associations in limiting organic matter decay: Insights from the Dajihu peat soil, Central China // *Geoderma*. 2018. V. 320. P. 149–160. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.013>
55. *Chen T., Bao A., Jiapaer G., Guo H., Zheng G., Jiang L., Chang C., Tuerhanjiang L.* Disentangling the relative impacts of climate change and human activities on arid and semiarid grasslands in Central Asia during 1982–2015 // *Science of the Total Environment*. 2019. V. 653. P. 1311–1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.058>
56. *Cherlet M., Hutchinson C., Hill J., Sommer S., von Maltitz G.* World atlas of desertification. Publ. office of the European Union, Luxembourg, 2018. 248 p.
57. *Cotrufo M.F., Soong J.L., Horton A.J., Campbell E.E., Haddix M.L., Wall D.H., Parton W.J.* Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss // *Nature Geoscience*. 2015. V. 10(8). P. 776–779. <https://doi.org/10.1038/ngeo2520>
58. *Cyle K.T., Hill N., Young K., Jenkins T., Hancock D., Schroeder P.A., Thompson A.* Substrate quality influences organic matter accumulation in the soil silt and clay fraction // *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. V. 103. P. 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.08.014>
59. *Das R., Purakayastha T.J., Das D., Ahmed N., Kumar R., Biswas S., Walia S.S., Singh R., Shukla V.K., Yadava M.S., Ravisankar N., Datta S.C.* Long-term fertilization and manuring with different organics alter stability of carbon in colloidal organo-mineral fraction in soils of varying clay mineralogy // *Science of The Total Environment*. 2019. V. 684. P. 682–693. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.327>
60. *Datta S.M., Takkar P.N., Verma U.K.* Assessing stability of humus in soils from continuous rice-wheat and maize-wheat cropping systems using kinetics of humus desorption // *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2015. V. 46. Iss. 22. P. 2888–2900. <https://doi.org/10.1080/00103624.2015.1104334>
61. *Hassink J.* The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // *Plant and Soil*. 1997. V. 1(191). P. 77–87. <https://doi.org/10.1023/A:1004213929699>
62. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil map. World Soil Resources Report № 160. Update 2015. FAO, Rome, 2015. 192 p.
63. *Lopez-Sangil L., Rovira P.* Sequential chemical extractions of the mineral-associated soil organic matter: An integrated approach for the fractionation of organo-mineral complexes // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. V. 62. P. 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.004>
64. *Manjaiah K.M., Mukhopadhyay R., Paul R., Datta S.C., Kumararaja P., Sarkar B.* Clay minerals and zeolites for environmentally sustainable agriculture // *Modified Clay and Zeolite Nanocomposite Materials*. Amsterdam, Oxford, Cambridge: Elsevier Publ., 2019. P. 309–329. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814617-0.00008-6>
65. *Paul E.A.* The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations and organic matter stabilization // *Soil Biology and Biochemistry*. 2016. V. 98. P. 109–126. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2016.04.001>
66. *Plichta W., Gurtowski M.* A general analytical model of the process of humus mineralization and accumulation in soil // *Ecological Modelling*. 1989. V. 3–4(44). P. 209–217. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(89\)90030-6](https://doi.org/10.1016/0304-3800(89)90030-6)
67. *Qiu H., Ge T., Liu J., Chen X., Hu Y., Wu J., Su Y., Kuz'yakov Y.* Effects of biotic and abiotic factors on soil organic matter mineralization: Experiments and structural modeling analysis // *European J. Soil Biology*. 2018. V. 84. P. 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2017.12.003>
68. *Sarkar B., Singh M., Churchman G.J., Bolan N.S.* Chapter 3 – Clay Minerals-Organic Matter Interactions in Relation to Carbon Stabilization in Soils // *The Future of Soil Carbon*, New York, Academic Press, 2018. P. 71–86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00003-1>
69. *Shahbaz M., Kuz'yakov Y., Heitkamp F.* Decrease of soil organic matter stabilization with increasing inputs: Mechanisms and controls // *Geoderma*. 2017. V. 304. P. 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.05.019>
70. *Singh M., Sarkar B., Bolan N.S., Ok Y.S., Churchman G.J.* Decomposition of soil organic matter as affected by clay types, pedogenic oxides and plant residue addition rates // *J. Hazardous Materials*. 2019. V. 374. P. 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.03.135>
71. *Six J., Conant R.T., Paul E.A., Paustian K.* Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils // *Plant and Soil*. 2002. V. 2(241). P. 155–176. <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>
72. *Tahir S., Marschner P.* Clay addition to sandy soil: effect of clay concentration and ped size on microbial biomass and nutrient dynamics after addition of low C/N ratio residue // *J. soil science and plant nutrition*. 2016. № 16(4). P. 864–875. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000061>
73. *Tate R.L.III.* Soil organic matter: Biological and ecological effects. N.Y.: John Wiley and Sons, 1987. 291 p.
74. *Wang L., Zhang J., He R., Chen Y., Yang L., Zheng H., Li H., Xiao J., Liu Y.* Impacts of soil fauna on lignin and cellulose degradation in litter decomposition across an alpine forest-tundra ecotone // *European J. Soil Biology*. 2018. V. 87. P. 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2018.05.004>
75. *Wang X., Hua T., Lang L., Ma W.* Spatial differences of aeolian desertification responses to climate in arid Asia // *Global and Planetary Change*. 2017. V. 148. P. 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.008>
76. *White K.E., Coale F.J., Reeves J.B.* Degradation changes in plant root cell wall structural molecules during extended decomposition of important agricultural crop and forage species // *Organic Geochemistry*. 2018. V. 115. P. 233–245. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.11.004>

## **Influence of Granulometric Composition on Humus Accumulation in Soils of Dry Steppes of Tuva**

**E. A. Gurkova<sup>1, \*</sup> and D. A. Sokolov<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry, Novosibirsk, 630090 Russia*

*\*e-mail: gurkova@issa-siberia.ru*

The article is dedicated to assessing the resources and potential of humus accumulation of soils of dry steppes of the Central Tuva and Turano-Uyuk basins of Tuva. The methodological basis was the research on organomineral interactions as the main mechanism for the stabilization of organic matter and its accumulation in the soil. The results of assessing the possibility of humus accumulation by soils depending on the reserves of physical clay – the granulometric potential of humus accumulation are presented. It was found that humus accumulation in the region, under specific bioclimatic conditions, is limited by the limited resources of the fraction of physical clay. As a result, despite the large volumes of incoming plant residues, the soils are characterized by a low content and reserves of humus. It is shown that in chestnut soils (Cambisols) the granulometric potential of humus accumulation is not fully realized – less than 100%. In chernozems (Chernozems) in the existing bioclimatic conditions, the potential is maximized. The proposed methodological approach makes it possible to take into account the modern processes of soil deflation, to estimate the volume of losses of physical clay and humus, and the necessary measures to restore soil fertility, which is very important for an arid region.

*Keywords:* physical clay fraction, humus, chernozems, chestnut soils, soil degradation, soil restoration, the granulometric potential of humus accumulation