

АГРОХИМИЯ
И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ

УДК 631.45

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПОЧВ
ДЛЯ ГОРНО-КОТЛОВИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИБАЙКАЛЬЯ¹

© 2021 г. А. А. Черкашина^{а, *}, В. А. Голубцов^а, Е. В. Бережная^б

^аИнститут географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, ул. Улан-Баторская, 1, Иркутск, 664033 Россия

^бСибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, ул. Лермонтова, 132, Иркутск, 664033 Россия

*e-mail: anna_cher.87@mail.ru

Поступила в редакцию 29.04.2021 г.

После доработки 11.05.2021 г.

Принята к публикации 27.05.2021 г.

Приведен усовершенствованный вариант методики бонитировки почв, предложенной В.Д. Ивановым в 1986 г. и основанной на равноценной балльной оценке разных факторов плодородия путем подсчета среднеарифметической всех частных балльных оценок. Имеющиеся оценочные шкалы переработаны и адаптированы с целью учета особенностей почвообразования в горно-котловинных условиях Байкальского региона, таких как сложность гидротермических условий, неоднородность литологической основы, эрозионная опасность, укороченность почвенных профилей, характер почвенного органического вещества. Введены дополнительные критерии оценки с использованием общеизвестных в отечественном почвоведении классификаций. Апробация методики на примере естественных и агрогенно-преобразованных почв Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье) показала приемлемые результаты оценки почвенного плодородия и позволила выявить факторы, лимитирующие тот или иной тип землепользования. В первую очередь при размещении сельскохозяйственных угодий и выборе выращиваемых культур на территории исследования следует учитывать морозоопасность и недостаточное атмосферное увлажнение в начале вегетационного периода, подверженность активному воздействию водно-эрозионных процессов на склонах, крутизна которых превышает 2°, укороченность гумусовых горизонтов и сильную степень каменистости почв подгорных шлейфов, засоление гидроморфных почв в днище котловины. Необходимо ограничить использование высокочувствительных почв песчаных массивов, а также перегнойных и торфяных почв низинных болот во избежание процессов деградации. Представляется оправданным возврат в сельскохозяйственный оборот почв, приуроченных к пологим участкам склонов на нижних частях предгорных равнин и речных террасах с почвообразующими породами суглинистого или супесчаного состава, мощность которых превышает 50 см. Наиболее высоким бонитетом здесь обладают естественные темногумусовые и серогумусовые почвы и их агрогенно-преобразованные аналоги. Для увеличения достоверности результатов оценки целесообразно производить отбор оцениваемых характеристик в соответствии с величинами коэффициента корреляции, характеризующего связь почв с урожайностью той или иной культуры на каждой отдельно взятой территории. Это позволит учесть долю участия в урожае каждого диагностического признака.

Ключевые слова: бонитировка почв, показатели плодородия, залежи, горно-котловинный рельеф

DOI: 10.31857/S0032180X21110034

ВВЕДЕНИЕ

В результате кризиса агропроизводственного сектора в конце 80-х—начале 90-х гг. XX в. более 60% посевных площадей России перешли в залежное состояние [17, 18]. Оценка их качества и современного состояния позволит вернуть и сохранить в активном обороте плодородные почвы и осуществить мероприятия по консервации земель, подверженных деградации. Для этого поч-

венно-агроэкологическое обоснование должно базироваться на достоверной методике бонитировки почв.

Наиболее сложен выбор оптимальной методики для горных районов, к которым относится и территория Республики Бурятия. Критерии оценки плодородия почв должны здесь подбираться с учетом высокой неоднородности физико-географических условий, а разработка рекомендаций по дальнейшему хозяйственному использованию почв ориентироваться на снижение рисков развития процессов деградации. Исходя из этого, авторы воспользовались методикой бо-

¹ К статье имеются дополнительные материалы, доступные для авторизированных пользователей по <https://doi.org/10.31857/S0032180X21110034>.

нитировки почв Иванова [12, 19], шкалы которой были усовершенствованы и адаптированы, что позволило учесть как базовые показатели плодородия (гумусовое состояние, агрофизические свойства, обеспеченность основными элементами питания и др.), так и климатические, гидрологические и геолого-геоморфологические особенности формирования и функционирования естественных и агрогенно-преобразованных почв, формирующихся в горно-котловинных условиях Прибайкалья и Забайкалья.

Апробация методики проведена на примере почв Тункинской котловины (юго-западная часть Республики Бурятия), отличающейся большим почвенно-ландшафтным разнообразием, характерным для котловин юга Восточной Сибири, а также недостаточной изученностью вопросов аграрного природопользования и оценки качественного состояния почв [9, 21, 29].

Цель данной работы – адаптировать существующие оценочные шкалы для бонитировки почв горно-котловинных территорий юга Восточной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Тункинская котловина расположена на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны. Она входит в систему межгорных понижений гор Восточного Саяна (рис. 1). Абсолютная высота окружающих гор 2000–3200 м, интервал абсолютных высот дна 700–900 м. Аккумулятивная часть Тункинской котловины неоднородна и представлена рядом морфологических элементов, отличающихся по рельефу, высоте и условиям увлажнения [20].

Климат резко континентальный, характеризуется большими суточными и годовыми колебаниями температур, небольшим годовым количеством осадков, около 95% которых выпадает в период с апреля по октябрь [7, 27]. Контрастность климата и орографические условия обусловили формирование пояности, характерной для полугумидного сектора гор Южной Сибири с лесостепным, подтаежным, горно-таежным и высокогорным поясами [31].

Отмечается большое разнообразие почв и неоднородность их пространственного распределения [32]. Естественный почвенный покров при водораздельных, верхних и средних частях предгорных наклонных равнин представлен серыми почвами (Luvic Greyzemic Phaeozems) на легко- и среднесуглинистых отложениях под сосново-мелколиственными лесами. Подбуры (Folic Entic Podzols), дерново-подбуры (Entic Podzols), серогумусовые (Haplic Phaeozem, Haplic Phaeozem (Siltic)) и серые метаморфические (Eutric Cambisols) почвы приурочены к супесчаным и легкосугли-

нистым отложениям, часто с высоким содержанием грубообломочной фракции, под сосновыми и березово-сосновыми лесами. Пологие склоны и седловины заняты лесными лугами с темногумусовыми почвами (Haplic Umbrisols).

В днище котловины под лугово-степной растительностью на высоких речных террасах почвенный покров представлен серогумусовыми, светлогумусовыми (Calcaric Phaeozems) и темногумусовыми (Haplic Umbrisols, Calcaric Phaeozems) почвами. Под влажными лугами на низких террасах и поймах формируются аллювиальные почвы (Eutric Fluvisols) с серогумусовыми, темногумусовыми или перегнойными горизонтами. Под пойменными еловыми лесами распространены глееземы перегнойные криотурбированные (Gleyic Cryosols), перегнойно-глеевые мерзлотные (Histic Cryosols) и грубогумусовые (Haplic Cryosols) почвы.

На территории озерно-болотных комплексов по берегам озер располагаются эутрофно-торфяные почвы (Sapric Histosols) и торфяно-глееземы (Histic Gleysols). Некоторые заболоченные участки в 60-х гг. XX в. подвергались осушительным мелиорациям. Над окислено-глеевым или глеевым горизонтом таких почв часто наблюдаются следы былой распашки. Почвы переувлажненных участков днища котловины часто характеризуются щелочным гидрометаморфизмом и засолением.

В центральной части котловины над заболоченными участками возвышаются песчаные массивы, где почвенный покров представлен подбурами (Eutric Arenosols) и псаммоэмами гумусовыми (Protic Arenosols) с участками незакрепленных песков.

Более 50% котловинной части занято сельскохозяйственными землями, из которых на долю агрогенно-преобразованных почв приходится около 32%. Большая их часть находится под залежами 25–30-летнего возраста [32]. В основном они приурочены к террасам рек и нижним частям предгорных наклонных равнин. На аллювиальных равнинах удобные для земледелия участки представлены залежами под луговой и лугово-степной растительностью на агроземах (Anthrosols) светлых и темных реградированных, реже – агрогумусовых реградированных почвах. Распашка маломощных почв сопровождалась механическим перемешиванием не только гумусовых и срединных, но зачастую и всех генетических горизонтов, в результате чего произошло значительное сокращение педоразнообразия на участках предгорных равнин, где основными типами почв (до 50%) в составе почвенных комбинаций стали агроземы светлые [32–34].

Для бонитировки выбирали почвы наиболее сельскохозяйственно освоенных частей котловины, приуроченные к пологим склонам предгорных наклонных равнин южного (хр. Хамар-Дабан) и

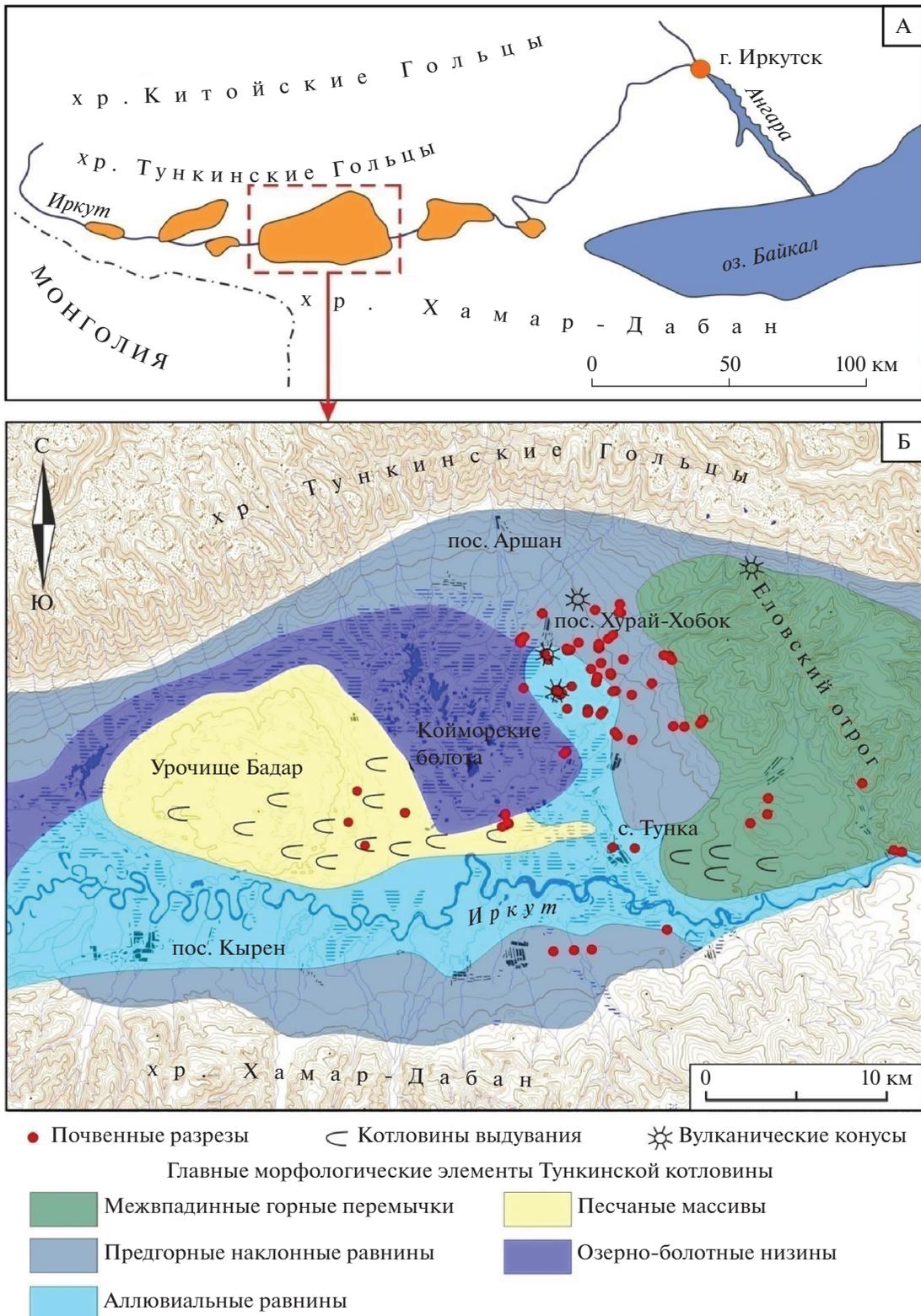


Рис. 1. Положение Тункинской котловины (А) и точек почвенного обследования в пределах главных морфологических элементов котловины (Б), выделенных по [20].

восточного (Еловский отрог) бортов котловины (до абс. высот 1100 м), аллювиальным равнинам в центральной части котловины и на правом берегу р. Иркут, а также небольшим участкам песчаных массивов и окружающих их заболоченных низин.

Исследовано 65 почвенных разрезов. При их заложении исходили из учета пространственной неоднородности природных факторов почвообразования, характерных для горно-котловинных территорий Прибайкалья (различия высоты, экспозиций и углов наклона поверхности, характера увлажнения и температурного режима, растительного покрова, разнообразия почвообразующих пород, интенсивности эрозионных процессов). Учитывали продолжительность и степень антропогенного воздействия на почвы. Для этого проведен ретроспективный геоинформационный анализ топографических карт масштаба 1 : 84000 (1896–1914 гг. издания) и 1 : 100000, данных дистанционного зондирования Земли (Landsat (MSS, 5 TM и 7ETM+)) [33, 34].

Определение таксономической принадлежности почв осуществляли согласно [15, 26]. Все используемые в работе аналитические данные получены авторами согласно общепринятым в почвоведении методикам [14, 22, 30, 35].

Методика оценки качества почв. Как и в большинстве современных российских методик оценки качества почв, Иванов [12, 19] использовал медальную систему подсчета баллов, основанную на равноценной балльной оценке различных факторов плодородия и получения среднего арифметического. Закрытая 100-балльная шкала построена по десяти группам характеристик. Максимальные значения показателей внутри каждой из групп соответствуют 10 баллам. С изменением значений показателей уменьшается количество баллов в той пропорциональности, в которой происходит снижение уровня плодородия почв по данному признаку.

В работе использовали принципы составления оценочных шкал и подсчета баллов бонитета, принятые в [12, 19], однако с целью более полного учета особенностей формирования почв в условиях горно-котловинных территорий оценили ряд дополнительных параметров: количество поступающей солнечной радиации в зависимости от крутизны и экспозиции склона; фактор морозоопасности при оценке суммы активных температур воздуха $>10^{\circ}\text{C}$ за вегетационный период; тип температурного режима почв; мощность мелкоземистой толщи; глубину и место оглеения в профиле и др. Большая часть заимствованных из [12, 19] шкал была изменена: переработаны и расширены шкалы по оценке теплообеспеченности растений за вегетационный период, гранулометрического состава и мощности поверхностного гумусированного слоя, обеспеченности доступ-

ными формами фосфора и калия, степени карбонатности и засоления; введены критерии оценки уплотненности, пористости и содержания органического вещества для органогенных горизонтов; добавлена оценка по степени ветровой эрозии. В дополнительных материалах (табл. S1.1 – S10.3.Б, рис. S1.1, S3.1) приведен полный список оцениваемых групп и входящих в них параметров с указанием рекомендуемых аналитических исследований. Указано, какие из шкал заимствованы без изменений, какие изменения и по какой причине были внесены. При введении дополнительных критериев оценки авторы опирались на общеизвестные в отечественном почвоведении классификации (Н.А. Качинского, В.Н. Димо, Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной, М.А. Флоринского, Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой).

Согласно [12, 19], балл для каждой из 10 групп характеристик может быть определен как по одному значению какого-либо известного показателя, так и вычислен как среднее арифметическое нескольких показателей. В рамках данной статьи авторы воспользовались вторым вариантом. Средняя величина балла высчитывалась по каждой из 10 групп с учетом всех приведенных в дополнительных материалах характеристик за исключением табл. S3.5, S8.1, S10.2A–S10.2B, S10.3Б.

Результаты оценки параметров почвенного плодородия (рис. 2) представлены в виде различных знаков, занимающих определенное положение в бонитировочной шкале от 1 до 10 баллов в соответствии с оцениваемой группой показателей (I–X). Для оценки степени ограничений землепользования десятибалльную шкалу подразделили на 5 классов, обозначенных цветами (рис. 2, табл. S11).

Бонитировка почв представляет собой сравнительную оценку их свойств, выраженную для каждого почвенного типа как суммарное количество баллов по группам показателей почвенного плодородия (рис. 3). Результаты качественной оценки почв представлены согласно их местоположению в пределах основных морфологических элементов котловины.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Климатические условия (I группа). При проведении оценки на горно-котловинных территориях следует учитывать варьирование условий тепло- и влагообеспеченности не только в пространстве, но и во времени. Так, на территории исследования характерная для начала вегетационного периода засушливость является лимитирующим фактором для выращивания многих овощных и некоторых зерновых культур в условиях отсутствия искусственного орошения. В мае коэффициент увлажнения Н.Н. Иванова (КУ)

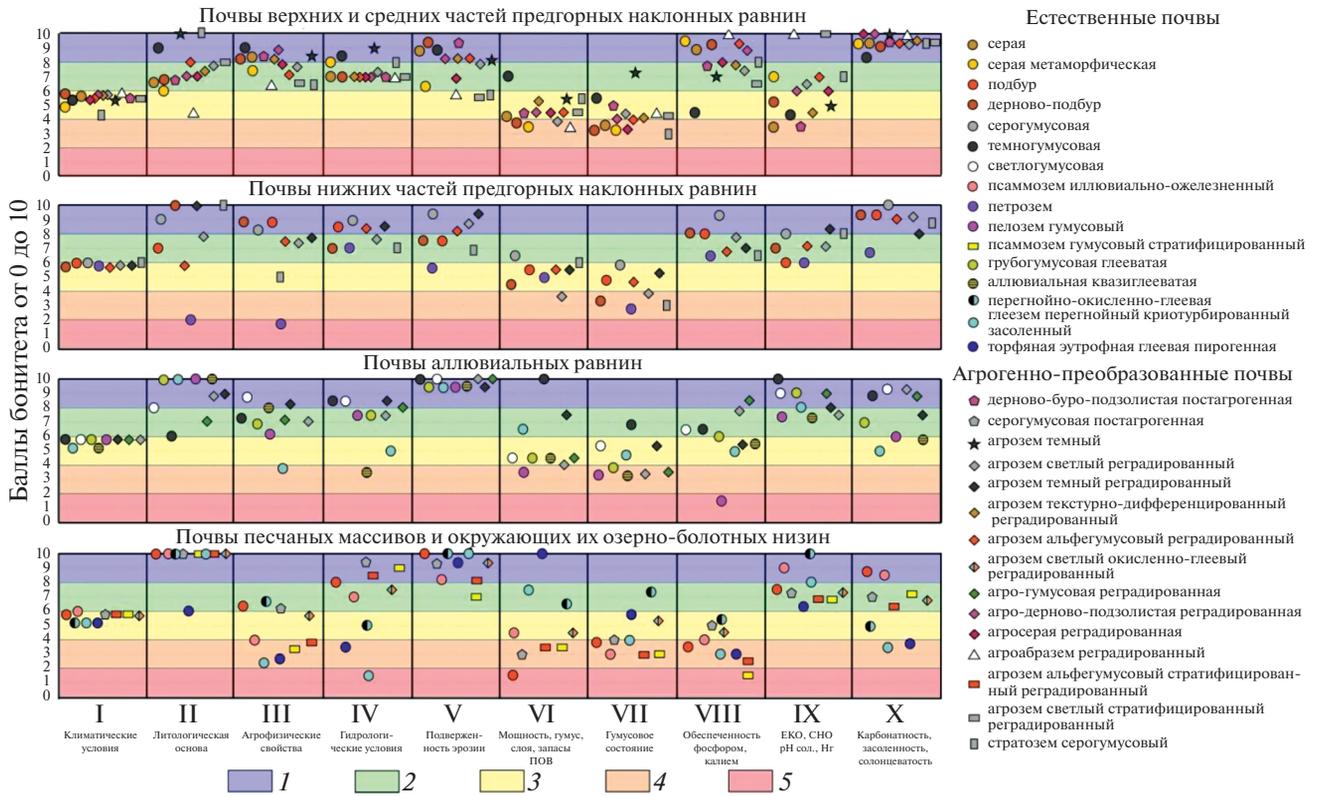


Рис. 2. Сравнительная оценка параметров плодородия основных типов почв Тункинской котловины. Классы ограничений землепользования: 1 – нет существенных ограничений; 2 – умеренные ограничения; 3 – умеренно-сильные ограничения; 4 – сильные ограничения; 5 – очень сильные ограничения (Приложение, табл.).

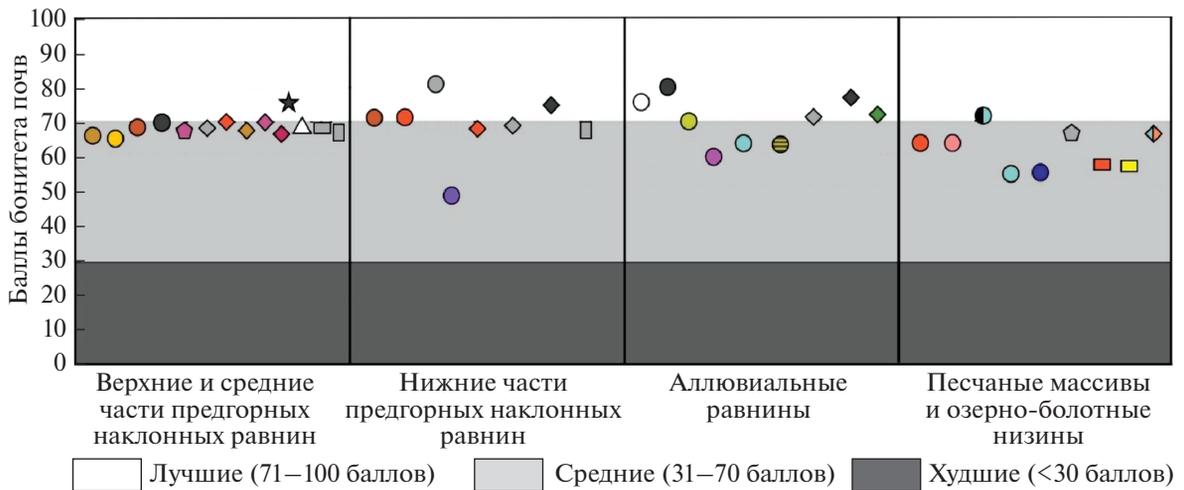


Рис. 3. Бонитировка почв Тункинской котловины.

соответствует аридным (0.25) условиям в днище котловины и на нижних частях предгорных наклонных равнин, и семиаридным (0.35–0.5) в их средних и верхних частях. К июлю–августу в днище котловины он достигает значений (1–1.5), характерных для гумидных условий, на предгорных

частях – для экстрагумидных (1.5–2). В сентябре КУ снова уменьшается в днище до семигумидных (0.6–0.8) условий, на предгорных наклонных равнинах – до гумидных (0.8–1.5) [13]. Исходя из этого, оценку КУ проводили по каждому месяцу с мая по сентябрь. Среднеарифметические значе-

ния для верхних и средних участков предгорных наклонных равнин составили 6.7 балла (далее – б.). Для центральной части котловины и нижних частей подгорных шлейфов – 7.7 б. (табл. S1.1).

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) в котловинной части (п. Тунка) составляет 1.6–1.7 [1], на средних и верхних частях предгорных наклонных равнин он увеличивается до 1.8, что характеризует условия как таежные (3.5 б.) (табл. S1.2).

Для оценки условий теплообеспеченности растений использовали показатель *суммы активных среднесуточных температур воздуха (выше 10°C) за вегетационный период (САТ)*. При этом для территории исследования авторы видят необходимость учета в данном параметре *фактора морозоопасности*, выступающего лимитирующим для возделывания одних культур и достижения хозяйственно ценных фаз спелости у других. В морозоопасных местоположениях заморозки наступают на 18–22 дня раньше, чем в теплых, что приводит к уменьшению сумм климатических температур в среднем на 250°C [13]. Для таких территорий мы предлагаем ввести поправку: вычитать 250°C из фактической САТ. По данным метеостанции п. Тунка [13] продолжительность вегетационного периода (100 дней) меньше, чем безморозного (94 дня). Следовательно, территория имеет отрицательное отклонение безморозного периода, что характеризует ее как морозоопасную.

В горно-котловинных условиях важно учитывать, что в зависимости от высоты местности САТ варьирует. Так, согласно [13], в центральной части Тункинской котловины на высоте 730–750 м САТ составляет 1410–1495°C (с учетом поправки на морозоопасность оценивается как 2.65 б.). На границе с Тункинскими Гольцами (п. Аршан) на абсолютной высоте 800 м она составляет 1388°C (2.4 б.). С увеличением высоты местности до 1000 м он уменьшается до 1056°C (1.8 б.). В целом климат освоенной части котловины оценивается как умеренно-холодный (бореальный) (рис. S1.1).

Для автоморфных почв на южных, восточных и западных склонах предгорных наклонных равнин и песчаных массивах характерен длительно-сезонно-промерзающий *тип температурного режима* (6 б.). На северном склоне хр. Хамар-Дабан и его предгорных частях, а также в пределах озерно-болотной низины в почвах наблюдаются мерзлотные режимы с многолетней мерзлотой островного и перелетного типа, смыкающейся с сезонным промерзанием (3 б.) (табл. S1.3). В этих почвах проникновение активных температур выше +10°C ограничивается верхними 30–50 см на мерзлотных перегнойно-глеевых почвах под еловыми лесами и 50–60 см под злаково-осоковыми лугами на торфяно-глееземах и торфяных почвах.

Влияние крутизны и экспозиции склонов на количество поступающей солнечной радиации и в целом на гидротермические режимы почвообразования существенно. На территории исследования наибольшие значения суммарной радиации наблюдаются в теплые месяцы (в июне она варьирует от 86.67 до 924.90 МДж/м²), а наименьшие – в холодные (в декабре от 9.05 до 70.98 МДж/м²). На выпуклые формы рельефа поступает больше суммарной радиации, чем на плоские, а в понижениях величины суммарной радиации наименьшие [24, 25]. В зависимости от экспозиции склонов баллы по данному показателю варьировали от 7 до 10 (табл. S1.4).

В целом по I группе показателей наблюдается незначительный разброс баллов (от 4.3 до 6.0) как в пределах каждого из элементов рельефа, так и в целом между ними. Это объясняется приуроченностью сельскохозяйственно освоенных земель к котловинной части, где преобладают малые углы наклона поверхности, при которых экспозиции склонов не оказывают существенного влияния, а небольшой перепад высот не вызывает сильного варьирования по количеству поступающего тепла и атмосферных осадков. Климатические условия накладывают умеренно-сильные ограничения на ведение сельского хозяйства (третий класс) и требуют подбора районированных сортов растений, выбора теплых местоположений, организации дополнительного увлажнения в начале вегетационного периода (рис. 2, табл. S11).

Степень каменистости и литологической неоднородности почвообразующих и подстилающих пород (II группа). Благоприятными с точки зрения плодородия считаются почвы с мощными, сложенными мелкоземом профилями, характеризующиеся отсутствием или незначительным содержанием камней (табл. S2.1–2.2).

По направлению от бортов котловины к ее днищу прослеживается снижение каменистости и увеличение мощности мелкоземистой толщи в почвенных профилях, что отражается в увеличении баллов (рис. 2). Предгорные наклонные равнины отличаются высокой литологической неоднородностью. Большая часть почв верхних и средних частей предгорных равнин имеет второй класс ограничений (6–8 б.) по степени каменистости (средняя–сильная степень) и мощности мелкоземистой толщи (30–80 см). Исключение (первый класс) среди агрогенно-преобразованных почв составляют агроземы темные и стратоземы (10 б.), лишенные камней на всей мощности (80–120 см) стратифицированного горизонта; среди естественных – темногомусовые (9 б.). Последние приурочены к пологим участкам склонов под лесными лугами и имеют мощные (>120 см) профили со средним содержанием камней (8 б.). Агробраземы имеют третий класс ограничений,

характеризуясь очень сильной каменистостью (4 б.) и малой (5 б.) мощностью мелкоземистой толщи (табл. S11).

На нижних частях подгорных шлейфов к почвам первого класса относятся дерново-подбуры, формирующиеся на лёссовидных суглинках, серогумусовые, агроземы темные и стратоземы; второго – подбуры и агроземы серые; третьего – агроземы альфегумусовые. Наименьшие баллы (2) присвоены петроземам.

Отложения аллювиальных равнин в пределах пойм и на террасах малых рек (Тунка, Хурай-Хобок и др.) преимущественно некаменистые или малокаменистые, в связи с чем формирующиеся здесь почвы (аллювиальные, грубогумусовые, пелоземы, глееземы, агроземы светлые и темные) имеют мощные по содержанию мелкозема профили и не имеют ограничений (первый класс) по II группе характеристик.

Почвы на второй и третьей террасах р. Иркут имеют менее благоприятные литологические условия. Вследствие формирования на валунно-галечниковом аллювии степень каменистости варьирует от очень сильной (4 б.) до средней (8 б.), а мощность мелкозема часто не превышает 80 см (8 б.). Вследствие этого формирующиеся здесь почвы (темногумусовые, светлогумусовые, агрогумусовые) имеют второй класс ограничений.

Почвы песчаных массивов формируются на озерно-аллювиальных отложениях, отличающихся отсутствием камней, благодаря чему они получили максимально высокие баллы по II группе показателей (10 б.) (рис. 2).

Отложения озерно-болотных низин также представлены мощными некаменистыми аллювиально-озерными песками и супесями (первый класс). Однако формирование почв в гидроморфных условиях способствует образованию на их поверхности торфяных горизонтов, в составе которых минеральная часть либо отсутствует, либо содержится в количествах, недостаточных для создания и поддержания благоприятных физико-химических свойств. Поэтому при их оценке учитывали только мощность минеральных горизонтов, залегающих под ними. Исходя из этого, эуτροφные торфяные почвы оценены 6 баллами. У перегнойно-глеевых почв в поверхностных горизонтах содержится значительное содержание мелкозема легкосуглинистого состава, в связи с чем, им присвоили 10 баллов.

Агрофизические свойства (III группа). Все естественные почвы предгорных равнин обладают благоприятным, легко-среднесуглинистым *гранулометрическим составом* (7–9 б.) верхней 20-сантиметровой толщи, оптимальной плотностью и пористостью (7–10 б.). Структурное состояние варьирует от удовлетворительного (6.5 б. у серых метаморфических и (дерново)-подбуров)

до хорошего (8.6 б. у серых, серогумусовых). Сказанное определяет отсутствие у естественных почв предгорных частей существенных ограничений (первый класс) по агрофизическим характеристикам (рис. 2). Исключения составляют серые метаморфические почвы (7.4 б., второй класс ограничений), для которых желательны провести мероприятия по улучшению структурного состояния, а также петроземы (1.7 б.), на которых механизированная обработка невозможна, осуществление какого-либо хозяйственного использования исключено (пятый класс ограничений) (табл. S3.1–3.2, табл. S11).

Агрогенно-преобразованные почвы предгорных равнин обладают менее благоприятными агрофизическими свойствами. Среди них отсутствие существенных ограничений (первый класс) характерно для агроземов темных (пар), реградированных агроземов текстурно-дифференцированных и агро-дерново-подзолистых почв, приуроченных к верхним и средним частям предгорных равнин. Также к первому классу (8.4 б.) относится дерново-буро-подзолистая постагрогенная почва под 150-летней залежью, агрофизические свойства которой близки к естественным (рис. 2). Основная же часть агрогенно-преобразованных почв имеет второй класс ограничений. Во-первых, это связано с заметным увеличением доли менее благоприятных, супесчаных почв (5–6.5 б.) по мере снижения высот от бортов к днищу котловины. Так на нижних частях подгорных шлейфов супеси составляют около 30%, а на участках речных террас – уже более 50%. Во-вторых, облегчение гранулометрического состава происходит за счет припахивания супесчаных и песчаных срединных горизонтов и почвообразующих пород у (дерново)-подбуров, серых метаморфических и серогумусовых почв, имеющих с поверхности суглинистые горизонты. Наименее благоприятными свойствами, проявляющимися в уплотненности (до 1.6 г/см³) и низкой пористости (до 40%) характеризуются стратоземы и стратифицированные почвы (второй–третий классы ограничений) (табл. S3.1–3.4, S.11, рис. S3.1).

В поймах рек почвы формируются преимущественно на супесчаных (5–6 б.) и легкосуглинистых (6.5–7 б.) отложениях. Хотя некоторые темногумусовые почвы на речных террасах, а также аллювиальные в поймах, имеют среднесуглинистый состав (8.5 б.). Высокое содержание крупнопылевой и мелкопесчаной фракций обуславливает отсутствие прочной агрономически ценной структуры, в связи с чем, структурное состояние большей части естественных и агрогенно-преобразованных почв оценивается 4.3–6.5 балла. В результате, все естественные и агрогенно-преобразованные почвы аллювиальных равнин требуют от серьезных (четвертый класс) до незначительных (второй класс ограничений) мероприятий по

улучшению агрофизические свойств. Исключения составляют агроземы темные реградированные и светлогумусовые почвы (первый класс).

Среди естественных почв песчаных массивов наиболее высокие баллы (6.2) имеют подбуры, формирующиеся в пределах урочища Бадар. Верхняя часть профиля у них представлена супесями (6 б.), сменяющимися ниже по профилю слоями связного (4 б.) и рыхлого (2 б.) песка. Плотность поверхностного горизонта этих почв оптимальная (10 б.), а пористость низкая (5 б.). Псаммоземы и агроземы альфегумусовые стратифицированные имеют четвертый класс ограничений, характеризуясь неудовлетворительным песчаным составом, низкой (3 б.) и очень низкой (2 б.) пористостью. Баллы по плотности у них варьируют от 5 до 10. Серогумусовые постагрогенные почвы, несмотря на песчаный состав за счет относительно высокого содержания органического вещества имеют оптимальную плотность и пористость (10 и 8 б. соответственно), что позволяет отнести их ограничения ко второму классу (6.2 б.). Все почвы песчаных массивов отличаются неудовлетворительным структурным состоянием (3.9 б.).

На территории озерно-болотной низины мощность органических горизонтов преимущественно превышает 30 см. Практически полное отсутствие минеральной составляющей в торфяных горизонтах является причиной чрезмерной рыхлости: плотность составляет в среднем 0.4 г/см^3 , пористость — 73%. Благодаря этому торфяно-глеяземы и торфяные эутрофные почвы требуют значительных улучшений агрофизических свойств (четвертый класс ограничений). Перегнойно-глеевые почвы содержат большее количество минеральных частиц, характеризуясь повышенной пористостью (73%), но близкой к оптимальной плотностью (1.1 г/см^3), благодаря чему требуют умеренных мелиораций (второй класс ограничений) (рис. 2, табл. S3.1–3.5, табл. S11).

Гидрологические условия (IV группа). Одним из существенно ограничивающих земледелие факторов является избыточное увлажнение. На территории Тункинской котловины такие условия создаются на участках пойм и стариц с аллювиальными (квази-)глеевыми почвами и глееземами перегнойными, а также озерно-болотной низины с торфяно-глееземами и эутрофными торфяными почвами (рис. 2). Уровень залегания грунтовых вод варьирует от очень высокого (0–0.5 м, 1 б.) до высокого (0.5–1 м, 3 б.). Проявления глеевого процесса наблюдаются по всему профилю (2 б.) (табл. S4.1–4.2).

Высокие поймы, останцы террас и песчаные массивы, возвышающиеся над озерно-болотной низиной, занимают полугидроморфные почвы: криоземы перегнойные глееватые, перегнойно-окисленно-глеевые и серогумусовые глееватые.

Уровень грунтовых вод варьирует от повышенного (1–2 м, 6 б.) до среднего (2–3 м, 9 б.), признаки (квази-)глееватости отмечаются в нижней части профиля на глубине 50–100 см (6 б.) или почвообразующей породе (8 б.).

Почвы речных террас отличаются оптимальным уровнем залегания грунтовых вод — от 2 до 5 м (от 9 и 10 б.), и относятся к глубоко оглееным (8 б.) и неоглееным (10 б.). На предгорных равнинах почвы имеют низкий (5–10 м, 7 б.) и очень низкий (более 10 м, 4 б.) уровень залегания грунтовых вод. Вдоль речных долин он может достигать среднего (9 б.) и повышенного (6 б.), за счет чего встречается глееватость в нижней части профиля и почвообразующей породе (6–8 б.).

Подверженность эрозионным процессам (V группа). Значительная доля почв предгорных равнин подвержена влиянию водной эрозии, а песчаных массивов — ветровой, в связи с чем данные почвы имеют второй–третий классы ограничений землепользования (рис. 2, табл. S11).

К факторам, благоприятствующим развитию *водной эрозии*, на исследуемой территории относятся: сведение лесной растительности и распашка склонов, крутизна которых превышает 2° ; большая протяженность распаханых участков вдоль склона; недостаточное количество защитных лесополос; суглинистый (часто лёссовидный) гранулометрический состав; ливневой характер осадков [2].

В верхних и средних частях подгорных шлейфов естественные почвы, находящиеся под сомкнутой лесной растительностью, развитым травянистым покровом и подстилкой, практически не подвержены эрозионным процессам при условии, что углы наклона поверхности не превышают 6° . При крутизне склонов 6° – 12° наблюдаются следы водно-эрозионных процессов, в том числе с формированием стратоземов и абраземов (третий класс ограничений). Агрогенно-преобразованные участки преимущественно находятся в диапазоне 1.5° – 3° , в редких случаях достигают 6° . Тем не менее, у большей части агропочв как современных, так залежных уже при крутизне склонов 1.5° – 2° обнаруживаются следы смыва, размыва и стратификации. В целом, по степени эродированности естественные лесные почвы оценены 9.7 балла, агрогенно-преобразованные — 8.1 балла. В нижних частях предгорных наклонных равнин за счет меньшей крутизны склонов наблюдается более слабое проявление эрозионных процессов (рис. 2, табл. S5.1–5.2, S11).

В настоящее время основная часть распаханых земель на предгорных частях котловины находится в залежном состоянии и подвержена процессам естественного восстановления лесной растительности. На поверхности эродированных почв сформировались гумусово-слаборазвитые и

гумусовые горизонты, что существенно снизило проявление водно-эрозионных процессов.

В днище котловины воздействие водной эрозии ограничено, в связи с чем почвы на аллювиальных равнинах и озерно-болотных низинах не имеют существенных ограничений (первый класс). Незначительные участки заняты почвами эолово-стратифицированных подтипов (9.7–9.8 б.) – результат эоловой аккумуляции материала, поступающего с песчаных массивов.

Около 28% котловины подвержено воздействию *ветровой эрозии* [8]. Ее развитию благоприятствуют: широкое распространение в котловинной части отложений супесчаного и песчаного состава с высоким содержанием крупнопылеватой фракции, малая мощность снежного покрова, засушливость весенне-раннелетнего периода, нарушение почвенно-растительного покрова из-за хозяйственной деятельности [16]. В середине XX в. на развееваемых участках проводилось шелюгование, что позволило частично закрепить песчаный субстрат и снизить эрозионную активность. На песчаном массиве Бадар в (дерново-)подбурях, защищенных от ветровой эрозии сосновыми лесами, следы современной эоловой деятельности отсутствуют (10 б.). Псаммоземы, формирующиеся под горельниками сосновыми, оценены 8.8 балла, поскольку имеют на поверхности эолово-стратифицированные горизонты. Незакрепленные пески и стратифицированные подтипы оценены 4 баллами, а псаммоземы гумусовые – 6.2.

Мощность гумусированного слоя (МГС), запасы почвенного органического вещества (ПОВ) (VI группа). Основная часть постлитогенных почв предгорных частей имеет третий класс ограничений по показателям VI группы (рис. 2, табл. S11). В верхних и средних частях предгорных равнин формирование почв происходит в условиях короткого периода биологической активности, часто на каменистых отложениях с низким содержанием мелкозема. Это является причиной малой мощности гумусовых горизонтов, укороченности почвенного профиля с резко убывающим типом профильного распределения ПОВ, основная часть которого сконцентрирована здесь на поверхности в торфяных, подстилочно-торфяных и грубогумусированных горизонтах. При этом периодические пожары зачастую приводят к их полному уничтожению.

Гумусовые горизонты отличаются по мощности и содержанию грубодисперсного ПОВ в зависимости от типа почв. Так, подбуры и дерново-подбуры, формирующиеся преимущественно на каменистых отложениях с легким гранулометрическим составом, имеют в среднем МГС, равную 26 см (3 б.), и низкие (до 33 т/га, 4 б.) запасы ПОВ. Серые почвы формируются на более однородных суглинистых отложениях и отличаются большей

МГС (до 35 см, 5 б.) (вероятно, за счет иллювиирования гумуса в составе органо-минеральных комплексов) и запасами ПОВ от 35 (низкие, 4 б.) до 62 т/га (средние, 6 б.). В нижних частях предгорных равнин при более благоприятных температурных условиях, меньшей крутизне склонов и каменности, большей однородности мелкоземистой толщи наблюдаются более высокие баллы. Так, у подбуров и дерново-подбуров МГС составляет в среднем 33 см (5 б.), а запасы ПОВ от 49 (низкие, 4 б.) до 63 т/га (средние, 6 б.) (рис. 2, табл. S6.1–6.2).

В результате проявления плоскостного смыва на предгорных равнинах широко распространены синлитогенные почвы (стратифицированные и стратоземы). Они отличаются среднемошными и мощными гумусированными горизонтами (50 до 80 см и более, 7–10 б.) при очень низких (19 т/га, 2 б.) и низких (34 т/га, 4 б.) запасах ПОВ. Вследствие периодической активизации селевых паводков у серогумусовых почв вдоль речных долин МГС может достигать 78 см (7 б.) за счет многочисленного чередования погребенных гумусовых горизонтов. Запасы ПОВ в ней составляют 60 т/га (средние, 6 б.).

Среди почв аллювиальных равнин в лучшую сторону отличаются темногумусовые почвы, для которых ведущими процессами являются гумусообразование и гумусонакопление. Приуроченные к террасам рек, почвы этого типа оцениваются максимальными баллами (10) как по МГС (более 80 см), так и по запасам ПОВ (174 т/га). На предгорных равнинах темногумусовые почвы имеют специфику горного почвообразования, проявляющуюся в малой мощности их гумусовых горизонтов (МГС 35 см, 5 б.). Тем не менее, они отличаются от других почв, приуроченных к данным элементам рельефа, высокими (103 т/га, 8 б.) и очень высокими (140 т/га, 10 б.) запасами ПОВ. Для агроземов темных также характерны высокие и очень высокие запасы ПОВ, МГС варьирует от 23 см (3 б.) на предгорных частях до 45 см (5 б.) на террасах.

В условиях периодической аккумуляции эолового материала на песчаных массивах происходит формирование псаммоземов. Так же, как соседствующие с ними (дерново-)подбуры, с поверхности они имеют маломощные подстилки и слабообразитые гумусовые горизонты. Но в отличие от альфегумусовых почв характеризуются не резким убыванием ПОВ вниз по профилю, а “растянутым” гумусовым профилем, мощность которого варьирует от 35 до 46 см (5 б.), а запасы ПОВ от 22 (2 б.) до 30 т/га (4 б.).

Согласно используемой методике, почвы, имеющие торфяные, грубогумусовые и перегнойные горизонты, оцениваются высокими баллами по запасам ПОВ. Торфяно-глееземы и торфяные

эутрофные почвы высоко оцениваются и по МГС. При этом следует понимать, что качественный состав таких органических горизонтов в отношении плодородия будет намного хуже, чем, к примеру, у темногумусовых почв, оцененных теми же баллами.

Таким образом, малая МГС и низкие запасы ПОВ являются лимитирующими факторами третьего и четвертого классов для ведения земледелия на почвах предгорных частей и аллювиальных равнин, четвертого и пятого – на песчаных массивах. Отсутствие существенных ограничений по VI группе (первый–второй классы) имеют темногумусовые почвы и их агрогенные аналоги (рис. 2, табл. S11).

Гумусовое состояние почв (VII группа). Естественные лесные почвы верхних и средних частей предгорных равнин Тункинской котловины формируются в условиях холодного климата, короткого периода биологической активности, кислой и сильнокислой реакции среды, ограничивающих интенсивность биохимических процессов и способствующих более длительному сохранению слабогумифицированных компонентов и неспецифических соединений, преобладанию фульвокислот (ФК) над гуминовыми (ГК), низкой степени гумификации. Дерново-подбуры, серые и серые метаморфические почвы имеют маломощные гумусовые горизонты с резко убывающим вниз по профилю распределением ПОВ, содержание которого оценивается как низкое и очень низкое. На их поверхности присутствует слой подстилки, мощность которой существенно варьирует за счет частоты и интенсивности лесных пожаров. Там, где их влияние особо сильное содержание $C_{орг}$ в слое 0–20 см может составлять всего 0.5%. Указанные почвы имеют очень низкую степень (2 б.) обогащенности ПОВ азотом, слабую степень гумификации ($C_{гк}/C_{общ}$ варьирует от 12.8 до 18.7%) и гуматно-фульватный тип гумуса. Отсюда, все естественные лесные почвы здесь имеют существенные ограничения (четвертый класс) по VII группе характеристик. Темногумусовые почвы, приуроченные к лесным лугам, характеризуются высоким (8 баллов) содержанием ПОВ в слое 0–20 см, а также средней–высокой степенью гумификации (6–8 б.), за счет чего имеют меньший – третий класс ограничений (рис. 2, табл. S7.1–7.4, S11).

По направлению от бортов к центральной части котловины за счет роста активных температур за вегетационный период происходит усиление биологической активности, увеличение периода активной деятельности микрофлоры и смена растительных сообществ на лесостепные и луговые. Отмечается повышение степени гумификации до средней у естественных почв (подбуры, дерново-подбуры, серогумусовые) на нижних частях предгорных равнин, и до средней–высокой у почв луго-

вых степей (светлогумусовые и темногумусовые) на аллювиальных равнинах. Также происходит увеличение доли ГК в составе гумуса, который характеризуется преимущественно как фульватно-гуматный (7 б.), и степени обогащенности ПОВ азотом за счет повышения содержания $N_{общ}$. Мощность органических горизонтов и подстилок у лесных почв здесь значительно меньше, а гумусовых горизонтов – больше. За счет этого содержание ПОВ у дерново-подбуров и подбуров варьирует от 1.9 до 2.4% (3–5 б.), у серогумусовых и светлогумусовых почв под лугово-степной растительностью составляет 2.3 и 1.4% $C_{орг}$ (3 б.), у темногумусовых – 3.9–7.9% (8–10 б.).

Для аллювиальных почв характерны маломощные гумусовые горизонты, чередующиеся с речными отложениями с низким содержанием ПОВ. В этой связи содержание ПОВ в слое 0–20 см у аллювиальных глееватых почв составляет 1.7–2.1% (3 б.). Степень обогащения ПОВ азотом очень низкая (2 б.), а гумификация слабая ($C_{гк}/C_{общ} = 17\%$, 4 б.), что накладывает на них большие ограничения использования (четвертый класс).

На территории озерно-болотных низин избыточное увлажнение в совокупности с засолением и мерзлотой тормозят процессы разложения растительных остатков и гумификации в целом. Так, почвы с эутрофно-торфяными горизонтами отличаются высоким содержанием $N_{общ}$ и ПОВ (ППП = 73–84%, 5 б.), однако основная их масса находится в недоступной для растений форме. Без проведения осушительных мелиораций рассчитывать на плодородие этих почв ошибочно. При этом стоит учитывать, что их окультуривание приводит к качественному и количественному изменению ПОВ, проявляющемуся главным образом в интенсивной его минерализации, приводящей к истощению запасов азота и углерода. Так, содержание $C_{орг}$ в слое 0–20 см у залежных агроземов светлых окислено-глеевых реградированных, полученных при осушении и глубокой вспашке, составляет всего 2.5% (5 б.), $N_{общ}$ – 0.24%, а C/N – 12.2, что характеризует степень обеспеченности ПОВ азотом как низкую (3 б.). Степень гумификации при этом высокая ($C_{гк}/C_{орг}$ от 32 до 40), а тип гумуса гуматно-фульватный. Учитывая высокую чувствительность этих почв, во избежание их деградации необходим тщательный подбор приемов земледелия.

Среди почв, приуроченных к более дренированным участкам днища, самыми высокими баллами (9) по содержанию ПОВ оценены перегнойно-глеевые почвы под пойменными еловыми лесами. Соотношение C/N у этих почв составило 6.4, что соответствует высокой степени обогащения ПОВ азотом (7.5 б.). Степень гумификации от средней ($C_{гк}/C_{общ} = 21.4\%$) до высокой ($C_{гк}/C_{общ} = 39\%$), тип гумуса фульватно-гуматный. Грубо-

гумусовые почвы и глееземы перегнойные мерзлотные по содержанию ПОВ оцениваются 4.5 и 6 баллами, а по обогащению ПОВ азотом – 2 и 3, соответственно.

Естественные почвы песчаных массивов, подбуры и псаммоземы, имеют гуматно-фульватный тип гумуса ($C_{гк}/C_{фк}$ от 0.55 до 0.91) и среднюю степень гумификации ($C_{гк}/C_{общ}$ варьирует от 23 до 29%). При этом содержание ПОВ в слое 0–20 см таких почв и обогащение азотом оценивается как очень низкие (2 б.), что определяет четвертый класс ограничений по гумусовому состоянию.

Слаборазвитые и стратифицированные почвы имеют четвертый класс ограничений, отличаясь очень низким содержанием ПОВ и $N_{общ}$. Так, содержание $C_{орг}$ у псаммоземов, стратоземов и стратифицированных почв в слое 0–20 см варьировало от 0.7 до 1.1%, а $N_{общ}$ – от 0.02 до 0.08%. Пелоземы содержат до 1.4% $C_{орг}$ (3 б.) и 0.04% $N_{общ}$. Соотношение C/N у них может достигать 40 (2 б.).

По сравнению с естественными, у агрогенно-преобразованных почв отмечается достаточно однородное распределение ПОВ в пределах пахотного горизонта, под которым наблюдается его резкое снижение. В зависимости от типа почв наблюдается сильное варьирование содержания ПОВ в слое 0–20 см. Выявлено, что на всех элементах рельефа в среднем содержание ПОВ у агрогенно-преобразованных почв в 1.2–1.7 раз ниже, чем у естественных. Степень гумификации колеблется от слабой до средней (4–6 б.). Тип гумуса фульватно-гуматный (7 б.), реже – гуматно-фульватный (5 б.). Исключением являются залежные и распаханых в настоящее время агроземы темные, имеющие наиболее благоприятное гумусовое состояние среди исследованных почв. Содержание ПОВ у них варьирует от 4.8 до 6.4% (8–10 б.), степень гумификации от средней до высокой (6–8 б.), а тип гумуса от фульватно-гуматного до гуматного (7–10 б.) (рис. 2, табл. S7.1–7.4, S11).

Обеспеченность почв основными элементами питания (VIII группа). На предгорных равнинах и террасах рек в пределах аллювиальных равнин гумусовые горизонты естественных и агрогенно-преобразованных почв характеризуются высоким и очень высоким (9 и 10 б. соответственно) содержанием подвижных фосфатов. Обеспеченность обменными формами калия варьирует от низкой (4 б.) до очень высокой (10 б.). Примечательно, что более низкое содержания K_2O наблюдается преимущественно в залежных почвах. Таким образом, почвы предгорных частей и террасовых уровней рек требуют умеренных агрохимических мероприятий (первый–второй классы ограничений) по улучшению калийного, реже – фосфатного режимов. Исключением являются темногумусовые почвы лесных лугов и агроземы темные тер-

расовых уровней рек, которые за счет более низкого содержания P_2O_5 и K_2O имеют умеренно-сильные ограничения (третий класс) по VIII группе характеристик (рис. 2, табл. S8.2–8.3, S11).

Аллювиальные глееватые почвы на поймах наряду с перегнойно-окисленно-глеевыми почвами озерно-болотных низин, характеризуются высоким и повышенным содержанием подвижного фосфора (9 и 7 б.). Гидроморфные почвы озерно-болотных низин – торфяно-глееземы и эутрофные торфяные почвы – содержат всего 1.2–1.5 мг подвижных фосфатов (3 б.), что может быть связано с нахождением фосфора в составе ПОВ или в труднодоступных формах. При этом залежные агроземы светлые окислено-глеевые отличаются повышенным содержанием подвижных P_2O_5 (12 мг/100 г почвы), что может быть свидетельством былого внесения фосфорных удобрений. Все полугидроморфные и гидроморфные почвы отличаются очень низким (от 2.5 до 7.5 мг/100 г почвы, 2 б.) содержанием обменного калия. Таким образом, данные почвы имеют умеренно-сильный и сильный дефицит элементов питания (третий и четвертый классы ограничений).

Почвы песчаных массивов благодаря легкому гранулометрическому составу и низкому содержанию ПОВ также характеризуются недостаточной обеспеченностью доступными формами фосфора и калия. Особенно сильно их дефицит проявляется у эолово-стратифицированных подтипов агроземов альфегумусовых и псаммоземов. Последние наряду с пеллоземами, формирующимися в результате селевой активности в северной части котловины, имеют самый высокий (пятый) класс ограничений хозяйственного использования (рис. 2). Содержание подвижных фосфатов в этих почвах не превышает 0.77 мг/100 г почвы, обменного калия – 6.4 (по Мачигину). Наиболее высокими баллами среди почв песчаных массивов оценена серогумусовая постагрогенная почва, содержание P_2O_5 в которой соответствует повышенному (7 б.), а K_2O – низкому (3 б.).

Степень насыщенности почв основаниями (СНО), емкость катионного обмена (ЕКО) и почвенная кислотность (IX группа). Характеризуя насыщенность почвенного поглощающего комплекса (ППК) катионами, следует обозначить, что значительная часть почвообразующих пород на территории исследования содержит карбонаты и имеет нейтральную реакцию среды (pH_{KCl} 6.3–6.9), СНО от средней до высокой (70–97%). Пространственное варьирование показателей в пределах почвенных профилей имеет четкую дифференциацию по ландшафтно-климатическим поясам. Так, характерные для горной тайги процессы выщелачивания и подзолообразования обуславливают наличие гидролитической кислотности ($Nг$ от 1.7 до 41 смоль(экв)/кг) и очень сильно кислой pH_{KCl}

(от 3.9 до 4.5, 1 б.) в гумусовых и элювиальных горизонтах подбуров, дерново-подбуров и серых почв, формирующихся в верхних и средних частях предгорных равнин. В слое 0–20 см этих почв СНО характеризуется в среднем как низкая (6 б.). Итак, как естественные, так и агрогенно-преобразованные почвы здесь имеют второй–четвертый классы ограничений и нуждаются в проведении мелиоративных мероприятий, направленных на снижение почвенной кислотности и повышение СНО. Исключение составляют только стратифицированные почвы и агрообраземы (10 б.), поверхность которых представлена материалом карбонатсодержащих почвообразующих пород, имеющих нейтральную pH_{KCl} (6.3–6.9) и высокую СНО (86–97%) (рис. 2, табл. S9.1–9.2, S11).

По направлению к днищу котловины количество атмосферных осадков, а с ними и степень выщелоченности почв уменьшаются, благодаря чему почвы нижних частей предгорных наклонных и аллювиальных равнин характеризуются близкими к оптимальным СНО и реакцией среды, имея незначительные (первый–второй классы) ограничения по IX группе характеристик. Так, в пределах лесостепного пояса серогумусовые почвы характеризуются близкой к нейтральной pH_{KCl} (5.5–5.8, 8 б.) и средней СНО (83%, 8 б.). Темногумусовые почвы террасовых уровней рек имеют преимущественно нейтральную реакцию среды (10 б.), высокую СНО (89%, 10 б.) и ЕКО (45 смоль(экв)/кг, 10 б.), оцениваясь наиболее высокими баллами по IX группе показателей.

Близкое к поверхности почвы залегание минерализованных грунтовых вод является причиной слабощелочной реакции среды в полугидроморфных и гидроморфных почвах днища котловины. Например, в аллювиальных квазиглееватых почвах, формирующихся под пойменными лугами pH_{KCl} достигает 7.3, а в эутрофно-торфяных почвах, приуроченных к озерно-болотным комплексам – 7.7 (6.5 б.). Благодаря этому указанные почвы имеют умеренные ограничения (второй класс) в сельскохозяйственном использовании.

Приуроченные к песчаным массивам подбуры иллювиально-железистые в верхней части профиля имеют от слабокислой до близкой к нейтральной реакцию среды (pH_{KCl} от 5.1 до 6.0, 7 б.) и низкую СНО (до 56%, 6 б.). С увеличением глубины происходит постепенное возрастание СНО (до 77%) и pH_{KCl} (до 5.8), однако на протяжении всего почвенного профиля карбонаты отсутствуют, что связано с их выщелачиванием. На глубине 34–60 см почвы подстилаются карбонатными рыхлыми песками. СНО здесь достигает 87% (высокая), а pH_{KCl} – 7.9 (слабощелочная). В отличие от подбуров, у псаммоземов, формирование которых происходит в условиях периодической эоловой аккумуляции песчаного материала на по-

верхности почвы, степень выщелачивания карбонатов в верхней части профиля может сильно варьировать. СНО составляет 72–99% (8–10 б.), а pH_{KCl} – 6.7–8.0 (10–6.5 б.).

Отметим также, что в залежных почвах под лесной растительностью на предгорных частях происходит постепенное восстановление почв благодаря возобновлению процессов выщелачивания по подзолисто-му типу. Например, у агроземов текстурно-дифференцированных и агросерых почв под 60-летними залежами наблюдается подкисление верхней части пахотного слоя (pH_{KCl} 4.3) по сравнению с нижней (pH_{KCl} 4.7) и уменьшение СНО (71% в АУра, 77% в Рра). Дерново-буро-подзолистая постагрогенная почва под 150-летней залежью отличается очень сильно кислой реакцией среды (pH_{KCl} 4.3) и низкой СНО (58%), что приближает ее по исследуемым параметрам к естественным почвам.

Степень карбонатности, засоления и осолонцевания почв (X группа). По содержанию карбонатов в слое 0–30 см естественные и агрогенно-преобразованные почвы предгорных равнин относятся к слабокарбонатным (10 б.) и карбонатным (8 б.). Среди гумусовых горизонтов естественных почв наибольшее содержание (1%) отмечено в темногумусовых почвах, наименьшее (0.3%) – в дерново-подбурах и серых. Благодаря малой мощности горных почв переход к почвообразующей породе происходит на глубине 35–80 см. По глубине залегания остаточных карбонатов почвы в основном относятся к средне- (8 б.) и слабощелочным (6 б.), лишь 10% почв формируются на бескарбонатных породах (10 б.) (рис. 2, табл. S10.1A–10.1B).

Приуроченные к песчаным массивам псаммоземы гумусовые и подбуры имеют выщелоченный до глубины 30–40 см профиль, в связи с чем, не имеют существенных ограничений (первый класс) (табл. S11). При этом содержание карбонатов в песках, на которых они формируются, может превышать 6.3%. Их развеивание и переотложение приводит к формированию эолово-стратифицированных подтипов (например, псаммоземов эолово-стратифицированных), где CO_2 карбонатов достигает 5.5% (6 б.). Такие почвы характеризуются вторым классом ограничений.

На аллювиальных равнинах наиболее благоприятные условия создаются на высоких террасах. В профилях формирующихся здесь темногумусовых и светлогумусовых почв карбонаты присутствуют с поверхности в количестве 0.7–1.7% CO_2 (10–8 б.). Это обусловлено низкой интенсивностью выщелачивания ввиду меньшего количества осадков по сравнению с предгорными частями. Агроземы темные на лёссовидных суглинках относятся к высококарбонатным (6 б.), а содержание CO_2 карбонатов в почвообразующей породе достигает 9%.

Исходя из вышесказанного, можно предположить, что наличие карбонатов в почвах предгорных наклонных равнин, песчаных массивов и террасовых уровней аллювиальных равнин определяется литогенным фактором. Педогенные карбонаты в пределах современных почвенных профилей морфологически слабо выражены и представлены дисперсными формами. В агрогоризонтах известкованных почв встречается псевдомицелий. В почвообразующих и подстилающих породах на грубообломочном и галечниковом материале отмечены натечные формы. Таким образом, большая часть естественных и агрогенно-преобразованных почв на указанных элементах рельефа не имеет существенных ограничений (первый класс) по X группе характеристик (рис. 2, табл. S11).

Иная обстановка создается в днище котловины, где в силу затрудненного дренажа создаются условия для накопления поступающих с окружающих бортов впадины и ее горного обрамления подвижных продуктов выветривания, в частности, водорастворимых солей. Дополнительное поступление легкорастворимых солей происходит за счет углекислых кремнистых маломинерализованных (до 4.1 г/л) сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевых минеральных источников с нейтральной реакцией водной среды (рН около 6.9), имеющих широкое распространение на предгорных частях котловины и в ее днище. Все это в совокупности с периодически выпотным и десуктивно-выпотным водным режимом, характерным для почв центральной части котловины, является причиной формирования здесь полугидроморфных и гидроморфных почв с различным содержанием легкорастворимых солей и неконкреционных форм карбонатов, что является ограничивающим землепользование фактором (третий–четвертый классы) (рис. 2, табл. S11).

Эутрофно-торфяные мерзлотные почвы и торфяно-глееземы, формирующиеся по периферии многочисленных озер в пределах озерно-болотных понижений в 50% случаев являются незасоленными. Засоление в слабой, реже – средней степени, у этих почв наблюдается в слое 0–35 см. Содержание CO_2 карбонатов здесь может достигать 13.7%, сумма легкорастворимых солей – 0.43%. Тип засоления содово-сульфатный магниево-натриевый, либо сульфатно-содовый натриевый. Нижняя часть профиля (до 150 см) чаще всего не засолена (содержание легкорастворимых солей 0.08–0.1%) (табл. S10.3A).

Среди перегнойно-глеевых мерзлотных почв и глееземов перегнойных криотурбированных, формирующихся под пойменными ельниками встречаются слабозасоленные сульфатные и хлоридно-сульфатные типы засоления с участием соды. Засоление также характерно для верхней толщи 0–20 см,

где сумма легкорастворимых солей составляет 0.22–0.27%, а CO_2 карбонатов – 3.4–4.1%.

Аллювиальные дерновые и темногумусовые гидрометаморфизованные почвы, приуроченные к низким террасам и поймам, часто характеризуются слабой степенью засоления в верхних (15–35 см) горизонтах. Тип засоления сульфатный магниево-натриевый или содово-сульфатный магниево-натриевый, в нижней части профиля может смениться на натриево-кальциевый. Сумма легкорастворимых солей не превышает 0.29%, а содержание CO_2 карбонатов – 1–2.8%. По данным [23] на правобережье р. Иркут встречаются сильнозасоленные почвы с содержанием легкорастворимых солей до 1.78%, однако их распространение ограничивается пересохшими старичными озерами.

Среди исследованных агрогенно-преобразованных почв засоления не выявлено. При этом солонцеватые и солончаковатые почвы под залежными лугами встречаются в пойменных частях на правобережье р. Иркут [23, 32].

ВЫВОДЫ

1. Неблагоприятные климатические факторы, такие как морозоопасность, длительно-сезонно-промерзающий и мерзлотный типы температурного режима почв, ограничивают выращивание овощных и зерновых культур, требуя тщательного подбора сортов и местоположений полей. Засушливость в начале вегетационного периода служит основанием для организации системы искусственного орошения на территории исследования.

2. Специфика горного почвообразования, выражающаяся в малой мощности мелкоземистой части почв, укороченности профилей в целом и их гумусовых горизонтов, сильной каменистости снижают баллы бонитета почв, приуроченных к предгорным частям котловины. Высокая эрозийная опасность ограничивает распапку на склонах, крутизна которых превышает 2°.

3. Гидроморфные и полугидроморфные почвы озерно-болотных низин и пойм рек подвержены процессам засоления и осолонцевания, что ограничивает возделывание этих участков. Кроме того, смена гидрологических режимов в совокупности с агрогенными воздействиями может привести к быстрой минерализации органического вещества торфяных горизонтов и деградации почв.

4. Опасность ветровой эрозии является основанием для введения запрета нарушения почвенного и растительного покровов песчаных массивов-увалов. Антропогенное воздействие на эти почвы должно быть ограничено.

5. Полученные результаты указывают на оправданность возврата некоторой части земель в сельскохозяйственный оборот. Прежде всего, это относится к почвам, приуроченным к террасовым уров-

ням рек и нижним частям предгорных равнин: серогумусовые (81 б.), темногумусовые (80 б.), светлогумусовые (76 б.); а также их агрогенно-преобразованные аналоги: агроземы темные (76 б.) и агроземы светлые (70 б.).

6. Самыми низкими баллами бонитета (49 б.) оценены петроземы, встречающиеся на каменистых участках предгорных наклонных равнин. Немного более высокий класс бонитета имеют псаммоземы (57 б.) и агроземы альфегумусовые стратифицированные (58 б.), торфяно-глееземы и эутрофно-торфяные засоленные почвы (55 б.). В силу низкого плодородия следует избегать вовлечения перечисленных типов почв в состав пахотных земель, а также с осторожностью использовать их в иных типах сельскохозяйственного использования во избежание деградации.

7. В случае возврата залежных земель в сельскохозяйственный оборот потребуется внесение высоких доз органических удобрений, что обусловлено малой мощностью гумусированного слоя и низкими запасами ПОВ. Кроме того, возврат залежных почв предгорных частей, зарастающих сосново-мелколиственными лесами, повлечет экономические затраты не только на сведение лесной растительности и распашку, но и мелиоративные мероприятия по уменьшению почвенной кислотности и обогащению ППК обменными основаниями.

9. Конечные баллы бонитета почв в целом позволяют оценивать уровень потенциального и реального плодородия почв. Однако система подсчета баллов, присущая всем медиальным методикам оценки, приводит к завышению бонитета некоторых почв. Причина этого заключается в наличии признаков, служащих основанием для исключения ряда почв из оборота. Таким признаком для петроземов является очень сильная каменистость или формирование на плотных породах, псаммоземы имеют очень легкий гранулометрический состав, а солончаки характеризуются сильным засолением. Для повышения достоверности результатов оценки целесообразно производить отбор оцениваемых характеристик в соответствии с величинами коэффициента корреляции, характеризующего связь почв с урожайностью той или иной культуры на каждой отдельно взятой территории. Это позволит учесть роль и долю участия в урожае каждого диагностического признака. Учитывая сказанное, при оценке почв с третьим—пятым классами ограничений для полеводства по какой-либо группе характеристик мы рекомендуем исходить не столько из их конечных баллов бонитета, сколько из экологически допустимого и экономически выгодного типа хозяйственного использования.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания АААА-А17-117041910169-4.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Табл. S1.1. Коэффициент атмосферного увлажнения Г.Н. Высоцкого-Н.Н. Иванова (КУ).

Табл. S1.2. Гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК).

Табл. S1.3. Сумма активных температур воздуха >10°C за вегетационный период.

Табл. S1.4. Тип температурного режима почв.

Табл. S1.5. Влияние крутизны и экспозиции склона на поступление суммарной солнечной радиации за вегетационный период.

Табл. S2.1. Скелетность почв (суммарное соотношение частиц >2 мм в верхнем 30 см слое в % от массы горизонта).

Табл. S2.2. Мощность мелкоземистой толщи от поверхности до кровли плотных пород.

Табл. S3.1. Гранулометрический состав поверхностного слоя (0–20 см).

Табл. S3.2. Структурное состояние поверхностного слоя (0–20 см) по Н.И. Саввинову.

Табл. S3.3. Плотность поверхностного слоя (0–20 см) органогенных горизонтов.

Табл. S3.4. Пористость поверхностного горизонта почвы за вегетационный период.

Табл. S3.5. Водопроницаемость поверхностного горизонта почвы.

Табл. S4.1. Уровень залегания почвенно-грунтовых вод.

Табл. S4.2. Глубина и место оглеения в профиле (относится как к глеевому, так и к глееватому горизонту).

Табл. S5.1. Углы наклона поверхности.

Табл. S5.2. Степень эродированности.

Табл. S6.1. Мощность поверхностного гумусированного слоя.

Табл. S6.2. Запасы ПОВ.

Таблица S7.1.А. Уровень содержания ПОВ в минеральных и органо-минеральных горизонтах почв при валовом содержании $C_{орг}$ менее 15%.

Табл. S7.1.Б. Уровень содержания ПОВ в органо-минеральных (перегнойные, перегнойно-темногумусовые, грубогумусовые, перегнойно-грубогумусовые) и органических (подстильно-торфяные, торфяные) горизонтах почв при валовом содержании $C_{орг}$ более 15%.

Табл. S7.2. Обогащенность гумуса азотом, рассчитанная как атомное соотношение общего содержания органического углерода к азоту ($C_{орг}/N_{общ} \times 1.17$).

Табл. S7.3. Степень гумификации органического вещества, рассчитанная как ($C_{гк}/C_{орг} \times 100\%$).

Табл. S7.4. Тип гумуса, рассчитанный как отношение количества углерода гуминовых кислот (гк) к углероду фульвокислот (фк).

Табл. S8.1. Содержание в почве подвижных форм азота.

Табл. S8.2. Содержание в почве подвижных фосфатов.

Табл. S8.3. Содержание в почве обменного калия.

Табл. S9.1. Катионообменная способность почв.

Табл. S9.2. Степень кислотности.

Табл. S10.1.А. Степень карбонатности в слое 0–30 см.

Табл. S10.1.Б. Глубина залегания карбонатов (СО₂ карбонатов более 2%).

Табл. S10.2.А. Содержание обменного натрия в солонцовом горизонте.

Табл. S10.2.Б. Степень солонцеватости в слое 0–20 см по содержанию обменного натрия от емкости поглощения.

Табл. S10.2.В. Мощност надсолонцового горизонта.

Табл. S10.3.А. Химизм и степень засоления.

Табл. S10.3.Б. Глубина залегания горизонта легко-растворимых солей (положение верхней границы).

Табл. S11. Классы и примеры ограничений землепользования.

Рис. S1.1. Сумма активных температур воздуха >10°С за вегетационный период.

Рис. S3.1. Плотность поверхностного слоя (0–20 см) органо-минеральных горизонтов.

8. *Выркин В.Б.* Современное экзогенное рельефообразование котловин байкальского типа. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1998. 175 с.

9. *Гончиков Б.-М.Н., Цыбикдоржиев Ц.Ц.* Бонитировка и кадастровая оценка почв Западного Забайкалья (на примере Кижингинской котловины) // Вестник КрасГАУ. 2010. № 9. С. 7–12.

10. *Димо В.Н.* Тепловой режим почв СССР. М.: Колос, 1972. 360 с.

11. Засоленные почвы России / Под ред. Л.Л. Шишова, Е.И. Панковой. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 854 с.

12. *Иванов В.Д., Кузнецова Е.В.* Оценка почв. Воронеж: ФГУ ВПО ВГАУ, 2004. 287 с.

13. *Картушин В.А.* Агроклиматические ресурсы юга Восточной Сибири. Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1969. 100 с.

14. *Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. 192 с.

15. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

16. *Ларин С.И.* Основные этапы освоения ландшафтов Тункинских котловин // Историко-географические исследования Южной Сибири. Иркутск, 1991. С. 70–85.

17. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

18. *Люри Д.И., Карелин Д.В., Некрич А.С., Горячкин С.В.* Лес против поля или что происходит на заброшенных пашнях России. Век географии. М.: Дрофа, 2018. С. 273–302.

19. Методические указания по бонитировке почв. Воронеж: ВСХИ, 1986. 18 с.

20. Нагорья Прибайкалья и Забайкалья / Под ред. Н.А. Флоренсова. М.: Наука, 1974. 359 с.

21. *Намжилова Л.Г., Тулохонов А.К.* Эволюция аграрного природопользования в Забайкалье. Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. 200 с.

22. *Орлов Д.С., Гришина Л.А.* Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 272 с.

23. *Парамонова А.Е., Убугунова В.И., Черноусенко Г.И., Убугунов В.Л., Балданов Б.Ц., Цыремпилов Э.Г.* Засоленные почвы поймы среднего течения реки Иркут: морфогенетические и агрохимические свойства // Вестник БГСХА им. В.Р. Филиппова. 2017. № 2. С. 30–38.

24. *Парежева Т.В.* Распределение характеристик коротковолновой радиации в котловинах Юго-Западного Прибайкалья. Магистерская дис. по направлению подготовки: 05.04.04. Томск, 2019. 109 с. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vital:9814> (дата обращения: 28.04.2021).

25. *Парежева Т.В., Воронай Н.Н.* Оценка изменчивости составляющих радиационного баланса в коротковолновой части спектра на территории Тункинской и Мондинской котловин // Мат-лы междунар. научно-практ. конф., посвященной памяти

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ и прогноз изменений климата в российской части Алтае-Саянского экорегиона и на приграничных территориях Казахстана и Монголии. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2018. 289 с.
2. *Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А.* Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
3. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Методические указания по учету засоленных почв. М.: Гипроводхоз, 1968. 91 с.
4. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
5. *Бондарев А.Г., Сапожников П.М., Уткаева В.Ф., Щепотьев В.Н.* Серые лесные почвы // Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. С. 67–86.
6. *Востокова Л.Б., Булгаков Д.С., Орешникова Н.В., Яковлев А.С.* Бонитировка почв в системе земельного кадастра. М.: МАКС Пресс, 2010. 300 с.
7. *Василенко О.В., Воронай Н.Н.* Особенности формирования климата котловин юго-западного Прибайкалья // Известия РАН. Сер. географическая. 2015. № 2. С. 104–111.

- чл.-корр. РАН А.Н. Антипова. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2019. С. 231–234.
26. Полевой определитель почв. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
 27. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. Вып. 22: Иркутская область и юго-западная часть Бурятской АССР. Ч. 2: Атмосферные осадки. Иркутск, 1975. 322 с.
 28. Тюменцев Н.Ф. Сушность бонитировки почв на генетико-производственной основе. Новосибирск: Наука, 1975. 140 с.
 29. Убугунов Л.Л., Куликов А.И., Убугунова В.И., Меркушева М.Г., Дорошкевич С.Г. Плодородие почв агроландшафтов Бурятии. Улан-Удэ: Изд-во БГСХА им. В.Р. Филиппова, 2009. 177 с.
 30. Флоринский М.А., Поляков А.Н., Павлихина А.В., Луцев М.И., Кузнецов А.В., Исаев В.В., Овчаренко М.М., Максимов П.Г. Методические указания по проведению комплексного агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий. М.: Центр научн.-техн. информ., пропаганды и рекламы, 1994. 96 с.
 31. Холбоева С.А., Намзалов Б.Б. Степи Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье). Улан-Удэ: Изд-во Бурят. ун-та, 2000. 114 с.
 32. Черкашина А.А., Голубцов В.А. Структура почвенного покрова Тункинской котловины // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 130–140.
 33. Черкашина А.А., Голубцов В.А., Силаев А.В. Постагрогенная трансформация почв Тункинской котловины (Юго-Западное Прибайкалье) // Известия ИГУ. Сер. Науки о Земле. 2015. Т. 11. С. 128–140.
 34. Черкашина А.А., Силаев А.В. Изучение и картографирование агрогенной трансформации почвенного покрова Тункинской котловины // Успехи современного естествознания. 2016. № 5. С. 168–173.
 35. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.

Application of the Methodology for Assessing Soil Quality for Mountain-Depression Areas of the Baikal Region

A. A. Cherkashina^{1,*}, V. A. Golubtsov¹, and E. V. Berezhnaya²

¹Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, 664033 Russia

²Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk, 664033 Russia

*e-mail: anna_cher.87@mail.ru

The article presents an improved version of the soil assessment method proposed by V.D. Ivanov (1986) and based on an equivalent score of different factors of fertility by calculating the arithmetic mean of all individual scores. The existing rating scales have been revised and adapted to take into account the features of soil formation in the mountain-depression conditions of the Baikal region, such as the complexity of hydrothermal conditions, heterogeneity of the parent material, erosion hazard, shortening of soil profiles, and the nature of soil organic matter. Additional evaluation criteria are introduced based on the well-known in Russian soil science classifications. The application of the methodology on the example of natural and agrogenically transformed soils of the Tunka depression (South-Western Cisbaikalia) made it possible to identify factors limiting land use and showed acceptable results of soil fertility assessment. First of all, when locating agricultural land and choosing crops grown in the study area, one should take into account: frost hazard and insufficient atmospheric moisture at the beginning of the vegetation season, active water erosion processes on slopes, the steepness of which exceeds 2°, thin humus horizons and a strong degree of stony in soils of piedmont plains, salinization of hydromorphic soils in the bottom of the basin. It is necessary to limit the use of highly sensitive soils of sandy massifs, as well as humus and peat soils of lowland bogs in order to avoid degradation processes. It seems reasonable to return to agricultural use soils confined to gentle slopes on the lower parts of the foothill plains and river terraces with loamy or sandy loam parent material, the thickness of which exceeds 50 cm. The highest scores here are possessed by natural dark-humus and gray-humus soils and their agrogenically transformed types. To increase the reliability of the assessment results, it is advisable to select the assessed characteristics in accordance with the values of the correlation coefficient characterizing the relationship of soils with the yield of a particular crop in each individual territory. This will allow taking into account the role and share of participation in the harvest of each diagnostic feature.

Keywords: soil assessment, soil fertility, fallow lands, mountain-depression relief