

ПОЧВЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА

Научный журнал

2020

Том 3. Выпуск 2

Свидетельство о регистрации: ЭЛ № ФС 77 - 72325 — сетевое издание от 14 февраля 2018 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес издателя и редакции: 630090, Россия, Новосибирская область, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 8/2, тел.: +7(383) 3639035, ИПА СО РАН, e-mail: redactor@soils-journal.ru, сайт: <https://www.soils-journal.ru>

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

Якименко Владимир Николаевич - доктор биологических наук, зав.лабораторией агрохимии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Заместители главного редактора

Дергачева Мария Ивановна - доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

Соколов Денис Александрович - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории рекультивации почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Члены редколлегии

Андроханов Владимир Алексеевич – доктор биологических наук, ВРИО директора ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Абакумов Евгений Васильевич - профессор РАН, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной экологии ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный университет

Бойко Василий Сергеевич – доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научной работе ФГБНУ Омский аграрный научный центр (Омск, Россия)

Будажанов Лубсан-Зонды Владимирович – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, профессор, директор ФГБНУ Бурятский НИИ сельского хозяйства (Улан-Удэ, Россия)

Гамзиков Геннадий Павлович – академик РАН, доктор биологических наук, профессор, профессор ФГБОУ ВО Новосибирский государственный аграрный университет (Новосибирск, Россия)

Гольева Александра Амуриевна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт географии РАН (Москва, Россия)

Дюкарев Анатолий Григорьевич – доктор географических наук, заведующий лабораторией мониторинга лесных экосистем ФГБУН Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (Томск, Россия)

Кулижский Сергей Павлович – доктор биологических наук, профессор, проректор по социальным вопросам ФГБОУ ВО Национальный Исследовательский Томский государственный университет (Томск, Россия)

Колесников Сергей Ильич - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и природопользования ФГБОУ ВО Южный федеральный университет

Пузанов Александр Васильевич – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт водных и экологических проблем СО РАН (Барнаул, Россия)

Рожков Вячеслав Александрович – член-корреспондент РАН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБУН Почвенный институт им.В.В. Докучаева (Москва, Россия)

Сиромля Татьяна Ивановна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеохимии почв ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Сысо Александр Иванович – доктор биологических наук, заместитель директора по науке ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Убугунов Леонид Лазаревич – доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН (Улан-Удэ, Россия)

Чевычелов Александр Павлович – доктор биологических наук, заведующий лабораторией генезиса почв и радиоэкологии ФГБУН Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (Якутск, Россия)

Танасиенко Анатолий Алексеевич – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Шарков Иван Николаевич – доктор биологических наук, доцент, руководитель Сибирского НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН

Шпедт Александр Артурович - доктор сельскохозяйственных наук, доцент, ВРИО директора ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН (Красноярск, Россия)

Якутин Михаил Владимирович – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия)

Содержание

Наумова Н.Б. e124
От редколлегии

Эволюция почв и динамика экосистем

**Титлянова А.А., Косых Н.П., Кыргыз Ч.С.,
Миropyчева-Токарева Н.П., Романова И.П.,
Самбуу А.Д., Шибарева С.В.** e110
Продуктивность травяных экосистем Тувы

Титлянова А.А., Кыргыз Ч.С., Самбуу А.Д.
Влияние пастбищной нагрузки и погодных условий
на продуктивность сухих степей Тувы e113

Физика и гидрология почв

Шапорина Н.А., Сайб Е.А.
Вариабельность агрофизических показателей комплекса склоновых почв
Предсалаирья e118

Дискуссия

Чичулин А.В. e116
Физико-теоретические основы мезоскопического подхода
к изучению почвенно-климатических закономерностей

Юбилей и памятные даты

Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. e122
К 80-летию доктора биологических наук Анатолия Алексеевича
Танасиенко, ведущего специалиста в области экологического
эрозиоведения в Сибири



ОТ РЕДКОЛЛЕГИИ

Дорогие читатели!

Представляем вашему вниманию очередной номер журнала «Почвы и окружающая среда».

Более 40% площади суши (без учета Гренландии и Антарктиды), т.е. 52,5 млн км² занято травяными экосистемами. По накоплению органического углерода травяные экосистемы занимают второе место после тропических лесов, но в травяных экосистемах, в отличие от лесов, оно происходит в основном в подземной сфере. Запасы подземных органов растений могут в несколько раз превышать запасы надземной фитомассы, как сообщают А.А. Титлянова с соавторами в статье, посвященной обобщению многолетних работ по оценке продуктивности травяных экосистем Тувы. Заметим, что любые оценки продукции растительного материала, и особенно в подземной сфере, важны для понимания процессов круговорота углерода, однако методология и методики таких работ являлись и являются большим вызовом для исследователей. Особенно трудно вычлнить влияние различных факторов, например, пастбищной нагрузки и погодных условий, на продуктивность травяных систем, в том числе Тувы, и, в частности, сухих степей. Итогам такой работы посвящена в представляемом номере еще одна статья А.А. Титляновой с соавторами из Тувы, которые много лет активно изучают тувинские степи под влиянием выпаса.

Динамические процессы в пределах педосферы и разнообразие типов почв зачастую неадекватно представлены в различных климатических моделях, предсказывающих воздействие естественных или антропогенных изменений на климат. В этом плане статья А.В. Чичулина, представляющая физико-теоретическое обоснование и описание мезоскопического подхода к изучению почвенно-климатических закономерностей, весьма интересна для специалистов соответствующих направлений.

Неоднородность любых свойств и желание понять и оценить ее всегда привлекали внимание пытливых исследователей в различных областях познания. Почвенные свойства в этом плане отнюдь не исключение, и в последнее время их пространственное варьирование привлекает особое внимание как основа прецизионного, почво- и ресурсосберегающего земледелия. В статье Н.А. Шапориной и Е.А. Сайб представлены результаты оценки вариабельности агрофизических показателей комплекса склоновых почв Предсалаирья.

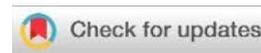
Биографии ученых, внесших большой вклад в исследования в той или иной области науки, в том числе и науки о почве, всегда поучительны. Статья С.Я. Кудряшовой и А.С. Чумбаева посвящена основным вехам научного пути одного из ведущих специалистов в области экологического эрозиоведения в Сибири А.А. Танасиенко и, на наш взгляд, представляет особый интерес для молодого поколения почвоведов.

Уважаемые читатели! Редколлегия надеется на ваше активное участие в публикационной деятельности нашего журнала. Хотелось бы получать от вас экспериментальные и теоретические статьи, статьи дискуссионного плана, выдвигающие новые гипотезы, обозначающие новые тенденции, критически и детально разбирающие разные методологические подходы, то есть такие материалы, которые не всегда просто и быстро опубликовать в журналах с длительной историей издания. Как нам представляется, в последнее время из-за минимизации контактов вследствие пандемии у исследователей появилось время подумать не только о глобальных проблемах человеческой популяции и ее динамике в связи с инфекционными заболеваниями, но также о концептуально-методологических аспектах собственной науки и ее месте в общей системе научного знания и практического хозяйствования в меняющихся условиях существования.

Однако появившееся недавно «Invited opinion» в *European Journal of Soil Science* настораживает уже своим заголовком “Race and racism in soil sciences” (<https://doi.org/10.1111/ejss.13078>) и тем, что авторы приглашают к дискуссии по данному вопросу. На наш взгляд, явно видна тенденция увести содержательное обсуждение проблем современной науки о почве в плоскость надуманных и необоснованных утверждений. Чего стоит сентенция “... we discuss how **lack of diversity continues** to affect our science and the scientific community”. По мнению авторов, «... недостаточное (расовое – *ред.*) разнообразие **продолжает влиять** на нашу науку и научное сообщество». Интересно, каким образом авторы доказали такое влияние и на каком основании пишут о его продолжении как о само собой разумеющемся явлении? Напомним, что редакции практически всех без исключения научных журналов постоянно призывают авторов

статей к тому, чтобы исследования были адекватно обоснованы соответствующими данными и воспроизводимы. Заметим, что десятилетиями сообщество почвоведов нашей страны являлось, используя вышеуказанный термин, в полной мере «diverse and inclusive scientific community». Таким и является до сих пор. И мы призываем нашу почвенно-научную общественность не втягиваться в такого рода дискуссии и максимально сосредоточиться на осмыслении, представлении и обсуждении собственно почвенных проблем. Наш журнал намерен всеми силами этому способствовать!

Член редакционной коллегии
к.б.н. Н.Б. Наумова



ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРАВЯНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТУВЫ

© 2020 А.А. Титлянова¹ , Н.П. Косых¹ , С.С. Курбатская², Ч.С. Кыргыс³,
Н.П. Миронычева-Токарева¹ , И.П. Романова⁴ , А.Д. Самбуу⁵ , С.В. Шибарева¹

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г.Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

² ГБУ РТ «Тувинский научный центр», ул. Кызыл, Интернациональная улица, 117а, г.Кызыл, 667000, Респ. Тыва, Россия E-mail: ana.kurbatskaya@mail.ru

³ АНО "Армия Ирбиса по сохранению редких и исчезающих видов животных", ул. Островского, 10-60, г.Кызыл, 667003, Респ. Тыва, Россия. E-mail: chaizu@rambler.ru

⁴ Хакасский государственный университет, пр. Ленина, 92, г. Абакан, 655017, Респ. Хакасия, Россия. E-mail: romirapet@mail.ru

⁵ Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667007, Респ. Тыва, Кызыл, ул. Интернациональная, 117а. E-mail: sambuu@mail.ru

Цель исследования. Оценка биологической продуктивности травяных экосистем Тувы.

Место и время проведения. В горных и котловинных травяных экосистемах Тувы проводили оценку запасов живой и мертвой надземной и подземной фитомассы и чистой первичной продукции.

Методология. Полевые и лабораторные исследования биологической продуктивности травяных экосистем проводили с применением геоботанических, ботанических и экологических методов анализа.

Основные результаты. Проведены исследования продуктивности травяных экосистем Тувы и оценка параметров продукционного процесса. С использованием единой методики выполнена оценка основных показателей биотического круговорота в горных и котловинных луговых и степных экосистемах. Выявлены факторы, влияющие на величины надземной и подземной продукции травяных экосистем.

Установлено, что в горных экосистемах надземная продукция меняется от 1,3 до 3,6 т/га в год, подземная - от 10 до 65. Величина подземной продукции варьирует очень широко и связана с местоположением горных хребтов, геоморфологией склонов и пастбищной нагрузкой. Связи с высотой местности не установлено. В котловинных экосистемах средние запасы зеленой надземной фитомассы меняются от 0,7 до 1,9 т/га, живой подземной — от 3,4 до 19,3. В ряду от луговых степей к опустыненным запасы зеленой фитомассы уменьшаются в 2,7 раза, живых подземных органов растений – в 5,7 раз, надземная продукция – в 3 раза, подземная — в 4 раза. Предложена система индексов, характеризующих функционирование травянистых растений. Величины индексов указывают на высокую интенсивность работы фотосинтезирующего аппарата; во всех типах степей доля подземной продукции одинакова и составляет 90% ее общей величины; количество оборотов живой подземной фитомассы увеличивается от луговой степи к опустыненной; с увеличением аридности прирост зеленой фитомассы, отнесенный к ее запасу, незначительно уменьшается.

Заключение. Анализ материала показывает, что запас живых подземных органов растений, как в горных, так и в котловинных экосистемах превышает запас зеленой фитомассы в 5-8 раз. Сохранение запаса живых подземных органов, как в жаркое засушливое лето, так и в холодную зиму, когда почва промерзает, является залогом выживания травяной экосистемы в любых климатических условиях.

Ключевые слова: Тува; продуктивность; чистая первичная продукция; запасы фитомассы; надземная продукция; подземная продукция; травяные экосистемы

Цитирование: Титлянова А.А., Косых Н.П., Кыргыс Ч.С., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Самбуу А.Д., Шибарева С.В. Продуктивность травяных экосистем Тувы // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. e110. doi: [10.31251/pos.v3i2.110](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110)

ВВЕДЕНИЕ

Продукционный процесс стоит в центре потоков вещества и энергии и обеспечивает жизнь на планете Земля (Вернадский, 1965; Вернадский 1989). Первичный продукционный процесс осуществляют зеленые растения, потребляющие солнечную энергию, двуокись углерода и воду из атмосферы, воду и питательные элементы из почвы. Продукционный процесс создает пищу и условия существования для многих организмов Земли. Зеленые растения в течение своей жизни поедаются

травоядными животными и насекомыми, но в основной своей части отмирают. Мертвые растительные остатки потребляются огромным количеством позвоночных и беспозвоночных животных, грибами и бактериями. В результате данного процесса растительные остатки в основной своей части превращаются в двуокись углерода и воду. Но на этом цикл не заканчивается. Некоторое количество исходного растительного органического вещества превращается в почвенное органическое вещество, которое в значительной мере определяет плодородие почвы (Ляпунов, Титлянова, 1974).

Как уже сказано выше, в ходе продукционного процесса постоянно осуществляются потребление двуокси углерода из атмосферы и выделение кислорода растениями в атмосферу, в процессе разложения растительных остатков двуокись углерода возвращается в атмосферу. Накопление кислорода в атмосфере не происходит, но запас его постоянно обновляется. Чем выше продуктивность растений, тем больше кислорода поступает ежегодно в воздух.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МЕТОДЫ

В научной и популярной литературе часто используется термин «продуктивность». Продуктивность — сложное понятие, отражающее биологический потенциал экосистемы, характеризуется двумя параметрами: запасом фитомассы и продукцией. В конце сезона или в конце жизненного цикла зеленые растения отмирают. Некоторая часть отмерших растений еще стоит в травостое, эту часть фитомассы называют ветошью. Ветошь ломается, падает на почву и образует подстилку. Со временем подстилка разлагается, и основная часть ее углерода переходит в виде CO_2 в воздух, небольшая часть превращается в почвенные органические вещества различной сложности и входит в общий пул почвенного органического вещества. В подземной сфере корни и корневища нарастают и отмирают, образуя мертвые подземные растительные остатки, которые в дальнейшем минерализуются с выделением CO_2 в атмосферу. Некоторая часть в виде органических веществ различной сложности также пополняет общий пул органического вещества почвы.

Итак, имеются шесть величин, характеризующих в травяных экосистемах запасы фитомассы: G – зеленая фитомасса; G_{max} – максимальная за сезон величина G ; D – ветошь; L – подстилка; B – живые подземные органы; V – мертвые подземные органы растений. Все величины данного ряда имеют размерность г/м^2 или т/га (для корней и почвы необходимо указание глубины отбора образцов). Эти величины косвенно характеризуют продукционный процесс.

Чистая первичная продукция NPP состоит из двух частей: ANP – надземная продукция и BNP – подземная продукция; $NPP = ANP + BNP$. Величины продукции измеряются в г/м^2 в год или т/га в год в углероде, либо в абсолютно сухом веществе.

Существуют разнообразные упрощенные и сложные, трудоемкие методы определения надземной и подземной продукции. Они подробно изложены в разных изданиях (Титлянова, 1977; Методы изучения биологического круговорота..., 1978; Биологическая продуктивность травяных экосистем, 1988).

Один из упрощенных методов оценки ANP и BNP основан на определении всех запасов фитомассы в момент максимального развития травостоя и расчета по следующим формулам:

- если известен только запас G_{max} , то $ANP = 0,408 + 1,456 \cdot G_{max}$;
- если известны запасы G_{max} и $D+L$, то $ANP = 1,108 \cdot G_{max} + 0,53 \cdot (D+L)$;
- если известны запасы B и V , то $BNP = 1,108 \cdot B + 0,53 \cdot V$;
- если известна сумма $B+V$ (распространенный случай), то $BNP = -0,103 + 0,467 \cdot (B+V)$.

Данные уравнения предложены нам членом корреспондентом Е.Я. Фрисманом (личное сообщение). Более сложный метод оценки продукции основан на динамике изменения запасов фитомассы в течение вегетационного сезона и расчета величин продукции по балансовым уравнениям (Титлянова, 1977).

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее ярко выраженной чертой климата Тувы является резкая континентальность, обусловленная главным образом удалением от морей и океанов. В холодную часть года область находится почти в центре обширного азиатского антициклона, в котором происходит формирование холодного воздуха с преобладающей тихой и ясной погодой (Носин, 1963; Чистяков и др., 2012; Намзалов, 2015).

Малоснежная зима, жаркое лето, малое количество осадков и большая амплитуда абсолютных и суточных температур – характерные особенности климата Тувы. Так, средняя

температура января составляет -28 ... 35 °С, июля – 15...20 °С, среднегодовая температура равна -5...-7 °С, высота снежного покрова составляет 10-20 см.

Период активной вегетации с суточными температурами не ниже 10 °С продолжается в среднем 134 дня. Увлажнение в котловинах скудное (гидротермический коэффициент, ГТК ≤ 0,4), за год в среднем выпадает 200-300 мм осадков. Основная часть осадков приходится на летний период.

Важнейшим ландшафтом Тувы являются степи: котловинные и горные. Горные степи расположены выше 1200 м, достигают высот 2500-2700 м над уровнем моря и выше переходят в тундра-степи. Котловинные степи занимают межгорные котловины с высотами 550-1200 м над уровнем моря, нижние части горных склонов, высокие террасы речных долин. Практически все степи используются как пастбища.

Котловинные степи представлены луговыми, настоящими, сухими и опустыненными. Луговые степи наряду с остепненными лугами расположены в лесостепном поясе, который имеет островной характер. Многозлаковые настоящие степи котловин покрывают выровненные участки склонов, подгорные шлейфы, террасы рек и озер, днища котловин. Самым распространенным типом являются сухие степи. Они занимают равнинные днища котловин, характеризуются довольно низким проективным покрытием (60-70%) и постоянным присутствием таких видов, как *Stipa krylovii*, *S.orientalis*, *Agropyron cristatum*, *Cleistogenes squarrosa*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia frigida*, *Potentilla acaulis*. В этих степях довольно обильно участие *Caragana pygmaea* и *C.bungei*.

Опустыненные степи рассматриваются как широтно-зональный подтип. Сообщества разреженные, общее проективное покрытие около 30%. Кустарниковый ярус представлен *Caragana pygmaea*. В травяном ярусе господствуют плотнoderновинные злаки, доминирует *Stipa glareosa*.

Луговые степи обычно приурочены к настоящим черноземам, настоящие степи – к южным черноземам и темно-каштановым почвам, сухие степи – к каштановым почвам различного гранулометрического состава, опустыненные – к светло-каштановым почвам (Носин, 1963).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка продуктивности лугов и степей Тувы. Оценка запасов фитомассы и продукции проводилась разными авторами по различным методикам во многих регионах бывшего СССР. Наиболее изученным регионом является Республика Тува, где исследования продуктивности начались в 1974 году и продолжаются по сей день. В различные годы в разных регионах Тувы работали сотрудники ИПА СО РАН (г. Новосибирск) и Центра биосферных исследований (г. Кызыл): Косых Н.П., Кудряшова С.Я., Курбатская С.С. Кыргыз Ч.С., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Самбуу А.Д., Самбыла Ч.Н., Титлянова А.А., Шибарева С.В.

Методика отбора образцов была одной и той же: отбирали пробы живой и мертвой надземной и подземной фитомассы один раз в сезон в момент максимального укуса зеленой фитомассы. Величины продукции рассчитывали по формулам:

- $ANP = 1,108 \cdot G_{max} + 0,53 \cdot (D+L);$
- $BNP = 1,108 \cdot B + 0,53 \cdot V.$

Исследования проводили в горных и котловинных экосистемах.

Горные экосистемы. Травяные горные экосистемы крайне разнообразны. Видовой состав фитомассы, а также величины запасов и продукции зависят от высоты местоположения, экспозиции и уклона поверхности (Самбыла, 2016). Высокогорные экосистемы, лежащие на высотах 2900-2200 м над уровнем моря, представлены тундра-степью (умеренная пастбищная нагрузка) и горной настоящей степью (сильная пастбищная нагрузка). Видимо в связи с различным пастбищным прессом экосистемы резко отличаются по запасам растительного вещества: в настоящей степи запасы всех компонентов меньше в два-три раза (табл. 1, 2). Следующая совокупность данных относится к хребту Ери-Тайга с высотой 1700 м над уровнем моря. Три из четырех пробных площадей располагаются на трансекте от вершины сопки к редкостойному лесу в ложбине. Запас зеленой фитомассы мало отличается на разных пробных площадях и колеблется от 1,5 до 1,8 т/га. Запас ($D+L$) резко увеличивается от 1 т/га до 5 т/га на нижней площадке. Увеличение запаса ($D+L$) связано с присутствием в подстилке некоторого количества хвои и шишек.

Запас живых корней чрезвычайно высок и меняется вниз по трансекту от 26 до 47 т/га, в тоже время запас мертвых корней на двух верхних площадках необычайно низок и составляет от 3 до 25 т/га. Высокие запасы живых и мертвых корней на нижней площадке, вероятно, связаны с проникновением тонких корней деревьев в почву этой площадки.

Таблица 1

Горные травяные экосистемы (общая характеристика)

Номер экосистемы	Горный массив	Координаты	Местоположение	Высота, м над ур.м.	Экосистема	Растительная ассоциация	Виды-доминанты	Почва	Пастбищная нагрузка
1	Монгун-Тайга	50° с.ш., 90° в.д.	Северный макросклон	2900	Тундра-степь	Полидоминантная злаково-разнотравная	<i>Astragalus adsurgens</i> , <i>Oxytropis intermedia</i> , <i>Stellaria petraea</i> , <i>Festuca altaica</i>	Горнокаштановая	Умеренная
2	Монгун-Тайга	50° с.ш., 90° в.д.	Северный макросклон	2200	Горная настоящая степь	Злаково-разнотравная	<i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Carex sp.</i>	Горнокаштановая	Сильная
3	хр. Ери-Тайга	51° с.ш., 89° в.д.	Близ оз. Кара-Холь, на низкой сопке, переходящей в ложбину, где расположен редкостойный лиственничный лес	1700	Петрофитная настоящая степь	Полынно-злаковая	<i>Artemisia frigida</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Aster altaicus</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Poa stepposa</i>	Горнокаштановая	Не опр.
4	хр. Ери-Тайга	51° с.ш., 89° в.д.	Близ оз. Кара-Холь, на низкой сопке, переходящей в ложбину, где расположен редкостойный лиственничный лес	1700	Петрофитная настоящая степь	Злаково-разнотравная	<i>Veronica incana</i> , <i>Oxytropis nuda</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Stipa orientalis</i> , <i>Orostachys spinosa</i>	Горнокаштановая	Не опр.
5	хр. Ери-Тайга	51° с.ш., 89° в.д.	Близ оз. Кара-Холь, на низкой сопке, переходящей в ложбину, где расположен редкостойный лиственничный лес	1700	Горная настоящая степь	Разнотравно-злаковая	<i>Koeleria cristata</i> , <i>Festuca frigida</i> , <i>Veronica incana</i> , <i>Carex pediformis</i>	Горнокаштановая	Не опр.
6	хр. Ери-Тайга	51° с.ш., 89° в.д.	Межгорная долина	1740	Горная настоящая степь	Злаково-полынная степь	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Carex duriuscula</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i>	Горная темнокаштановая	Сильная
7	Останец Ончаалан	50° с.ш., 95° в.д.	Северный склон	1100	Горная настоящая степь	Злаково-разнотравная	<i>Artemisia frigida</i> , <i>A. gmelinii</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa krylovii</i>	Темнокаштановая	Слабая
8	Улуг-Хемская	51° с.ш., 94° в.д.	Близ оз. Чагытай	1100	Горная каменистая степь	Злаково-разнотравно-полынная	<i>Artemisia frigida</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Stipa orientalis</i>	Каштановая маломощная каменистая	Легкая

Таблица 2

Запасы фитомассы и величины продукции в горных травяных экосистемах

Номер экосистемы	Экосистема	Глубина отбора образцов	Фитомасса, т/га					Продукция, т/га в год		
			G_{max}	(D+L)	B	V	G+(D+L)+B+V	ANP	BNP	NPP
1	Тундра-степь	0-20	2,6	1,3	15,0	19,5	38,4	3,6	26,9	28,7
2	Горная настоящая степь	0-20	0,8	0,7	6,1	6,0	13,6	1,3	9,9	11,2
3	Петрофитная настоящая степь	0-20	1,7	1,0	25,5	3,3	31,5	2,4	30,0	32,4
4	Петрофитная настоящая степь	0-20	1,8	0,9	38,3	6,3	47,3	2,5	45,7	48,2
5	Горная настоящая степь	0-20	1,5	5,3	46,8	25,1	78,7	4,5	65,1	69,6
6	Горная настоящая степь	0-20	0,9	2,4	24,4	8,7	36,4	2,3	31,6	33,9
7	Горная настоящая степь	0-20	1,2	0,6	10,2	7,4	19,4	1,6	15,2	16,8
8	Сухая каменистая	0-20	1,1	1,1	8,9	9,0	20,1	1,8	14,6	16,4

Рассмотрим структуру запасов фитомассы на пробной площади, расположенной в долине: величины G_{max} и $(D+L)$ соответствуют запасам надземной фитомассы на горных пастбищах. Удивляют очень низкие запасы мертвых подземных органов в горных настоящих степях хребта Ери-Тайга. Если на хребте Монгун-тайга в тундра-степи отношение B/V равно 0,8, а в горной настоящей степи – 1, то в травяных экосистемах хребта Ери-Тайга оно меняется от 2,7 (долина) до 8,3 на вершине сопки. Чем объяснить столь высокое соотношение между запасами B и V в настоящих степях хребта Ери-Тайга авторы затрудняются.

На высоте около 1000 метров на разных останцах расположены горная настоящая и горная каменистая степи. По запасам всех компонентов фитомассы эти две степи и настоящая степь, расположенная на 1000 метров выше (Монгун-тайга), близки между собой. Приведенного материала недостаточно, чтобы ответить на вопрос: «Действительно ли отличаются настоящие степи хребта Ери-Тайга от всех других горных настоящих степей?».

Надземная продукция в ряду горных степей, находящихся под разным пастбищным прессом, меняется от 1,3 до 2,5 т/га в год, т.е. в два раза. Сухая каменистая степь очень близка по величине ANP к горной настоящей степи, лежащей на той же высоте. Полученных данных недостаточно, чтобы выделить влияние высоты и пастбищной нагрузки на величину надземной продукции. По величине подземной продукции изученные степи распадаются на две группы: с низкой величиной BNP - 10-15 т/га в год и очень высокой – 30-46. Низкая величина продукции отмечена как для высокогорной степи (2200 м над уровнем моря), так и для степей среднегорья (1100 м). Вторую группу представляют степи хребта Ери-Тайга с очень высокой величиной BNP . Причины такой разницы между степями одного типа (настоящие степи) мы не знаем.

Котловинные травяные экосистемы. Приблизительно 2/3 площади травяных экосистем представлено котловинными лугами и степями, причем луга занимают незначительную площадь. Основная часть травяных фитоценозов – это сухие степи. Луга расположены в поймах рек и озер. Степи занимают склоны и днища падей. В таблице 3 представлено описание травяных экосистем, в которых проводили единичные в сезон, а также повторные в течение нескольких лет определения G_{max} , $(D+L)$, B и V . Оценки ANP и BNP , которые рассчитывали по формулам, указанным выше, представлены в таблице 4.

Таблица 3

Котловинные травяные экосистемы (общая характеристика)

Номер экосистемы	Межгорная котловина	Координаты	Местоположение	Тип экосистемы	Растительная ассоциация	Виды-доминанты	Почва	Тип использования
1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Улуг-Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Близ озера Чагытай	Заболоченный луг	Осоково-разнотравная	<i>Juncus compressus</i> , <i>Blysmus rufus</i> , <i>Triglochin maritima</i> , <i>Carex disticha</i> , <i>Carex enervis</i>	Аллювиальная, торфянистая	Легкий выпас
10	Улуг-Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Близ озера Чагытай	Влажный солонцеватый луг	Разнотравно-осоковая с чиём	<i>Achnatherum splendens</i> , <i>Carex diluta</i> , <i>Hordeum brevisubulatum</i> , <i>Puccinellia tenuiflora</i> , <i>Halerpestes ruthenica</i>	Каштановая солонцеватая	Легкий выпас
11	Улуг-Хемская	51°с.ш., 92° в.д.	Центральная пойма р. Енисей	Пойменный незаливаемый полидоминантный луг	Злаково-разнотравная	<i>Bromopsis inermis</i> , <i>Alopecurus arundinacea</i> , <i>Agrostis gigantea</i> , <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Poa pratensis</i>	Луговато-каштановая	Заповедан
12	Улуг-Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Близ озера Чагытай	Солонцеватый остепненный луг	Разнотравно-злаковая	<i>Achnatherum splendens</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Puccinellia tenuiflora</i> , <i>Carex duriuscula</i> , <i>Artemisia pontica</i>	Темно-каштановая	
Луговые степи								
13	Турано-Уюкская	51°с.ш., 93° в.д.	Северо-восточный склон Уюкского хребта	Луговая степь	Злаково-разнотравная	<i>Bromopsis inermis</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>S. krilovii</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Cirsium setosum</i>	Чернозем обыкновенный	Пастбище с легкой нагрузкой через 10 лет после пала
14	Турано-Уюкская	51°с.ш., 93° в.д.	Подгорная равнина	Луговая степь	Злаково-разнотравная	<i>Bromopsis inermis</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Cirsium setosum</i> , <i>Helictotrichon altaicum</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Phleum phleoides</i>	Чернозем обыкновенный	Легкий выпас
15	Улуг-Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Пологий склон останца	Луговая степь	Овсецово-осоково-разнотравная	<i>Helictotrichon desertorum</i> , <i>Stipa krylovii</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Galium verum</i>	Лугово-черноземная	Легкая пастбищная нагрузка
Настоящие степи								
16	Улуг-Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Близ озера Чагытай	Настоящая степь	полынно-типчаковая с ковылем	<i>Stipa capillata</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Carex duriuscula</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Artemisia frigida</i>	Каштанова щебнистая	Легкий выпас

Продолжение табл.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	Гувинская	51°с.ш., 93° в.д.	Северо-восточный склон хр. Восточный Тану-Ола	Настоящая степь	Злаково-разнотравная с <i>Caragana pygmaea</i>	<i>Helictotrichon altaicum</i> , <i>Bromopsis inermis</i> , <i>Stipa krylovii</i>	Чернозем южный	Пастбище с легкой нагрузкой через 10 лет после пала
18	Гувинская	51°с.ш., 94° в.д.	Среднегорье	Настоящая степь	Разнотравно-злаковая	<i>Bromopsis inermis</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Helictotrichon altaicum</i> , <i>Phleum phleoides</i> , <i>Artemisia frigida</i>	Чернозем южный	Заповедан
19	Гувинская	51°с.ш., 94° в.д.	Пологий склон останца	Настоящая степь	Разнотравно- типчачково-ковыльная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Artemisia frigida</i>	Темно-каштановая	Умеренный выпас
20	Улуг- Хемская	51°с.ш., 92° в.д.	Окрестности Шагонара	Настоящая степь	Разнотравно- мелкодерновинная	<i>Stipa orientalis</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Carex duriuscula</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Potentilla bifurca</i>	Темно-каштановая	Легкий выпас
Сухие степи								
21	Улуг- Хемская	51°с.ш., 93° в.д.	Мелкосопочная равнина	Сухая степь	Злаковая мелкодерновинная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Agropyron crisatum</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Potentilla acaulis</i>	Каштановая	Пастбище с легкой нагрузкой через 10 лет после пала
22	Центральн о- Гувинская	51°с.ш., 94° в.д.	Близ г. Кызыла, склон невысокой сопки	Сухая степь	Ковыльно-полынная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Artemisia frigida</i>	Каштановая	Умеренный выпас
23	Гувинская	51°с.ш., 91° в.д.	Днище пади	Сухая степь	Разнотравно- ковыльная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Festuca valesiaca</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Carex duriuscula</i>	Каштановая среднемощная суглинистая	Слабый выпас
24	Хемчикс- кая	50°с.ш., 90° в.д.	Нижняя часть склона	Сухая степь	Злаковая	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Leymus chinensis</i>	Каштановая маломощная с защеленной поверхностью	Умеренный выпас
25	Убсунурс- кая	50°с.ш., 95° в.д.	Близ озера Тере- Холь	Сухая степь	Лапчатково-полынно- ковыльная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Koeleria cristata</i> , <i>Carex pediformis</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Festuca ovina</i>	Каштановая песчаная	Легкий выпас

Продолжение табл.3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	Убсу- нурская	50°с.ш., 95° в.д	Близ озера Тере- Холь	Сухая степь	Лапчатково- типчаково-ковыльная	<i>Potentilla acaulis, Festuca valesiaca, Stipa krylovii</i>	Каштановая песчаная	Легкий выпас
27	Убсу- нурская	50°с.ш., 95° в.д	Близ озера Тере- Холь	Сухая степь	Полынно-злаковая с караганой	<i>Artemisia frigida, Festuca valesiaca, Koeleria cristata, Caragana pygmaea</i>	Каштановая маломощная каменистая	Легкий выпас
28	Улуг- Хемская	51°с.ш., 94° в.д	Близ озера Чагытай	Сухая степь	Полынно-типчаковая	<i>Stipa capillata Festuca valesiaca, Koeleria cristata, Carex duriuscula, Artemisia frigida</i>	Каштановая	Легкий выпас
29	Убсу- нурская	50°с.ш., 95° в.д	Пески Цугер-Элис	Сухая степь	Разнотравно злаковая	<i>Stipa krylovii, Koeleria cristata, Agropyron cristatum, Potentilla acaulis</i>	Каштановая супесчаная среднемощная	Легкий выпас
30	Убсу- нурская	50°с.ш., 95° в.д	Терраса р. Арасканыг	Сухая степь	Полынно-злаковая с караганой	<i>Cleistogenes squarrosa, Stipa krylovii, Artemisia frigida</i>	Каштановая мелко- щебнистая	Сильный выпас
31	Убсу- нурская	50°с.ш., 93° в.д.	Терраса р. Ирбитей 800 м н. у м.	Опустыненная степь	Разнотравно- змеевикова	<i>Cleistogenes squarrosa, Artemisia frigida, Gypsophila desertorum</i>	Светло-каштановая щебнистая	Сильная
32	Убсу- нурская	50°с.ш., 95° в.д	Окрестности озера Тере-Холь	Опустыненная степь	Нанофитоновая	<i>Stipa glareosa, Cleistogenes squarrosa, Artemisia frigida, Nanophyton erinaceum</i>	Светло-каштановая	Сильный выпас

Запасы фитомассы и величины продукции в котловинных травяных экосистемах

Номер экосистемы	Экосистема	Глубина отбора образцов (см)	Фитомасса, т/га					Продукция, т/га в год		
			G max ?	(D+L)	B	V	G+(D+L)+B+V	ANP	BNP	NPP
9	Заболоченный луг	0-20	2,8	2,3	47,9	104,1	157,1	4,3	108,3	112,6
10	Влажный луг	0-30	2,9	4,8	26,3	29,1	63,1	5,7	44,5	50,2
11	Пойменный луг	0-20	4,3	4,3	10,6	5,5	24,7	7,0	14,6	21,6
12	Остепненный луг	0-20	1,8	3,0	17,3	14,9	37,0	3,6	27,1	30,7
13	Луговая степь	0-40	1,6	2,5	21,9	23,7	49,7	3,1	36,9	40,0
14	Луговая степь	0-40	2,6	4,3	16,7	25,7	49,3	5,1	32,1	37,2
15	Луговая степь	0-20	1,4	2,0	43,9		47,3	2,6	20,4	23,0
16	Настоящая степь	0-40	1,8	3,0	22,3	17,1	44,2	3,6	33,8	37,4
17	Настоящая степь	0-20	1,2	2,0	15,2	21,2	39,6	2,4	28,0	30,4
18	Настоящая степь	0-20	2,3	3,7	15,8	21,4	43,2	4,5	28,8	33,3
19	Настоящая степь	0-20	1,2	2,1	11,3	13,6	28,2	2,4	19,7	22,1
20	Настоящая степь	0-40	1,6	2,6	17,6	15,0	36,8	3,1	27,5	30,6
21	Сухая степь	0-20	0,9	1,3	18,3	26,1	46,6	1,7	34,1	35,8
22	Сухая степь	0-20	0,6	2,0	13,5	17,4	33,5	1,7	24,2	25,9
23	Сухая степь	0-20	1,8	3,2	14,2	17,2	36,4	3,7	24,8	28,5
24	Сухая степь	0-20	0,9	2,3	10,1	15,0	28,3	2,2	19,2	21,4
25	Сухая степь	0-20	1	1,6	11,6	8,1	22,3	1,9	17,1	17,7
26	Сухая степь	0-20	1,3	1,7	6,6	4,9	14,5	2,3	9,9	12,2
27	Сухая степь	0-20	1,4	1,7	5,4	5,1	13,6	2,4	8,7	11,1
28	Сухая степь	0-40	1,6	2,6	17,0	15,5	36,7	3,1	27,0	30,1
29	Сухая степь	0-20	0,8	1,7	10,5	5,4	18,4	1,8	14,5	16,3
30	Сухая степь	0-20	1,4	1,4	5,4	5,2	16,0	2,3	8,7	11,0
31	Горная опустыненная степь	0-10	0,7	0,5	3,3	4,0	8,5	1,0	5,8	6,8
32	Опустыненная степь	0-20	0,6	1,2	3,5	7,4	12,7	1,4	8,4	9,8

Заболоченный луг расположен на кромке озера, в связи с чем почва постоянно и хорошо увлажнена. Запас зеленой фитомассы приближается к 3 тоннам на гектар и характерен для увлажненных лугов. Оцененный запас живых корней составляет 48 т/га, что превышает на 30% соответствующий запас в болоте, расположенном на берегу озера в Барабе (Титлянова, 1977).

Слишком высокий запас живых подземных органов заставляет думать, что значительная их часть представлена структурно сохранившимися, но не функционирующими корнями и корневищами трав. Запас мертвых подземных органов превышает 100 т/га. Ясно, что отобранные пробы подземной фитомассы представляют собой смесь живых, мертвых корней и корневищ с торфом.

Влажный солонцеватый луг, в травостое которого выделяется чий, характеризуется средним для влажных лугов запасом зеленой фитомассы и высокими запасами мертвой надземной, а также живой и мертвой подземной фитомассы. По запасам всех компонентов данный луг стоит в ряду увлажненных лугов Сибири (Титлянова, и др., 1996).

Пойменный незаливаемый полидоминантный луг выделяется из ряда лугов высокими запасами надземной и пониженными запасами подземной фитомассы. Данный луг находится в наиболее благоприятных условиях: не заливается, хорошо увлажняется и не подвергается пастбищной нагрузке в течение последних 10 лет.

Солонцеватый остепненный луг по величине запасов, как надземной, так и подземной фитомассы лежит в ряду остепненных лугов Западной Сибири (Титлянова, 1977).

Самая высокая надземная продукция среди лугов, достигающая 7 т/га в год, принадлежит пойменному незаливаемому лугу. Она уменьшается до 6 в фитоценозе влажного луга и минимальна (4 т/га в год) в остепненном лугу. Мы не сравниваем продукцию отмеченных трех лугов с продукцией заболоченного луга, поскольку последний находится под постоянным воздействием озера. Подземная продукция, в отличие от надземной, меняется, на первый взгляд, незакономерно. Она максимальна (45 т/га в год) во влажном и минимальна (15 т/га в год) в пойменном лугу. Низкая величина подземной продукции последнего луга связана с его высокой надземной продукцией. Интенсивность биотического круговорота (запасы и продукция), регулируется не количеством углерода, поступающего в зеленый лист, а количеством азота, поступающего из почвы в надземную часть растений. Концентрация азота в листьях в два-три раза выше, чем в живых корнях (Титлянова, 1979), следовательно, зеленая фитомасса в два-три раза «дороже» корневой. В связи с данным типом фитохимии увеличение надземной продукции часто приводит к снижению подземной, что мы и наблюдаем в данном случае.

К сожалению, в статье каждый тип луговой экосистемы характеризуется лишь одним фитоценозом, что понятно, т.к. травяной покров котловин Тувы представлен в основном степями. В ряду исследованных экосистем указаны всего три луговых степи, в связи с тем, что данный тип фитоценозов занимает в Туве небольшие пространства. Отметим, что G_{max} может изменяться от 1,4 до 2,6 т/га, почти в два раза. Высокий запас живых корней отмечен для экосистемы, восстанавливающейся в течение 10 лет после пала.

Настоящие степи исследовали в трех различных котловинах на пологих склонах гор, они получают дополнительное увлажнение за счет стекающих вод. Запасы G_{max} изменяются от 1,2 до 2,3 т/га, $(D+L)$ – от 2,0 до 3,7. Превышение запасов мертвой надземной фитомассы над живой указывает на замедленную минерализацию органического вещества подстилки. Масса живых подземных органов может меняться в два раза (11,3–22,3 т/га), мертвых – в 1,5 (13,6–22,4 т/га). Масса живых корней превышает зеленую фитомассу в 11 раз, и это отношение может меняться от 7 до 13. Различное отношение B/G_{max} определяется разными факторами: видовым составом травостоя, пастбищной нагрузкой, временем отбора образцов, погодными условиями и т.д., следовательно, нет постоянного отношения B/G_{max} и по запасу зеленой фитомассы нельзя даже приблизительно оценить запас живых подземных органов. Масса мертвой подземной фитомассы несколько больше, чем живой, что указывает на замедленность разложения подземной мортмассы. Замедление минерализации по отношению к приросту уже отмечалось для надземной фитомассы.

Сухие степи наиболее распространенные экосистемы в котловинной части Тувы. Практически во всех степях производится выпас животных. Пастбищная нагрузка переменна и чаще всего неизвестна. В зависимости от интенсивности выпаса оценки максимального запаса зеленой фитомассы различаются в три раза (0,6–1,8 т/га). Запасы мертвых надземных органов растений варьируют от 1,3 до 3,2 т/га. Как и в настоящих степях, запас мертвой надземной фитомассы превышает запас живой. Масса живых подземных органов растений изменяется от 5 до 18 т/га, т.е. почти в 4 раза и составляет в среднем 11,3 т/га. Масса мертвой подземной фитомассы лежит в пределах 5–26 т/га, составляя в среднем 12 т/га. В некоторых случаях запас мертвой подземной фитомассы превышает запас живой.

Рассматривая материал по запасам растительного вещества в целом, отметим, что каждый из компонентов в ряду подобных степей варьирует в несколько раз: запас живых корней больше G_{max} обычно в 7-13 раз. Данный факт говорит о том, что, несмотря на различный видовой состав

фитоценоза, основная масса фотосинтетатов поступает из листьев в корни. Это обстоятельство указывает на то, что основным фактор, определяющий рост растений в степях Тувы – почвенная влага.

Второй вывод, следующий из рассмотренного материала, заключается в том, что скорость минерализации подземной мортмассы меньше скорости ее образования, хотя эти различия не столь значительны, этот факт также указывает на недостаток влаги в почве.

В луговых степях надземная продукция может достигать 5 т/га в год. Величина ANP в настоящих степях несколько ниже, чем в луговых, ее максимальное значение — 4,5 т/га в год. Максимальная величина ANP в сухих степях оценивается в 3,7 т/га в год, минимальная величина – 1,7. Отметим, что во всех типах степей максимальная величина ANP превышает минимальную в два раза. Найденное соотношение не связано ни с одинаковым месторасположением степей, ни с одинаковой пастбищной нагрузкой, ни с годом исследования. Следовательно, существует определенная природная закономерность, определяющая величину надземной продукции для определенного вида сообщества.

Подземная продукция в луговых степях меняется от 20 до 37 т/га в год, т.е. почти в два раза. Величина BNP в настоящих степях варьирует не так сильно – от 20 до 34 т/га в год. В ряду сухих степей изменение BNP лежит в пределах от 9 до 34 т/га в год. Изменение величины BNP в сухих степях шире, чем в луговых и настоящих, отношение максимального значения BNP к минимальному составляет 3,8. Следовательно, подземная продукция в сухих степях варьирует гораздо сильнее, чем надземная, что вероятно связано с большими различиями в свойствах почв, которые в рассмотренных сухих степях меняются от каштановой среднемошной суглинистой до каштановой маломощной каменистой.

Проанализируем средние значения показателей биотического круговорота для всех типов степей (табл. 5). Существует закономерное изменение запасов зеленой и мертвой надземной фитомассы в ряду от самых увлажненных степей к самым сухим. Величина G_{max} в 2,7, а $(D+L)$ в 3,2 раза меньше в опустыненных степях по сравнению с луговыми. Та же тенденция уменьшения от луговых степей к опустыненным наблюдается и для запасов живых и мертвых подземных органов растений. В сухих степях по сравнению с луговыми G_{max} меньше в 1,6 раза, B - в 1,8 и V - в 1,9. Наиболее устойчивой величиной по отношению к засухе является запас зеленой фитомассы.

Разница между сухими и опустыненными степями проявляется резко: при опустынении запас G_{max} уменьшается в 1,7 раза, $(D+L)$ - в 2,3, B – в 3,3 и V - в 2,1. При уменьшении осадков происходит снижение запасов G , что вероятно связано с изменением видового состава травостоя: *Stipa krylovii* меняется на *Stipa glareosa*, имеющего низкую надземную фитомассу. Большое участие в травостое опустыненных степей принимает *Nanophyton erinaceum* с низкой зеленой фитомассой. В наибольшей степени от увлажнения зависит запас живых подземных органов растений, в меньшей – запас мертвых, несмотря на то, что с уменьшением увлажнения скорость минерализации замедляется.

Таблица 5

Средние величины запасов фитомассы (т/га) и продукции (т/га в год) в котловинных степях Тувы

Тип экосистемы	n	G_{max}	$(D+L)$	B	V	ANP	BNP	NPP
Луговые степи	3	1,9	2,9	19,3	24,7	3,6	30,8	34,4
Настоящие степи	5	1,3	2,4	14,7	16,6	2,6	25,1	27,7
Сухие степи	10	1,2	2,1	11,3	12,0	2,1	17,1	19,2
Опустыненные степи	2	0,7	0,9	3,4	5,7	1,2	7,1	8,3

Примечание: n- число исследованных экосистем

Анализируя все показатели продуктивности в ряду степей от луговых к опустыненным отметим, что надземная фитомасса и продукция меняются значительно меньше, чем подземная. Данное обстоятельство указывает на сохранение растениями запаса фотосинтезирующей фитомассы и ее продукции.

Существуют некоторые индексы, характеризующие различные стороны продукционного процесса, к ним относятся: NPP/G_{max} , BNP/NPP , BNP/B , ANP/G_{max} . Первый индекс характеризует интенсивность работы зеленой фитомассы, второй — долю фотосинтетатов, переходящих из надземной фитомассы в подземную, третий — оборачиваемость живой фитомассы подземных органов, четвертый — оборачиваемость зеленой фитомассы (табл. 6).

Индексы, характеризующие продуктивность травяных экосистем

Тип экосистемы	NPP/G_{max} год ⁻¹	BNP/NPP	BNP/B год ⁻¹	ANP/G_{max} год ⁻¹
Луговые степи	18	0,9	1,5	1,9
Настоящие степи	21	0,9	1,7	2,0
Сухие степи	16	0,9	1,7	1,8
Опустыненные степи	12	0,9	2,0	1,7

Величина первого индекса указывает на очень высокую интенсивность работы фотосинтезирующего аппарата. От настоящей степи к опустыненной величина индекса уменьшается почти в два раза, что может объясняться двумя причинами: снижением интенсивности фотосинтеза или увеличением дыхания живых органов растений.

Во всех типах степей доля подземной продукции от общей составляет 90%, что указывает на высокую степень регуляции распределения фотосинтетатов между надземными и подземными органами растений в процессе их роста.

Как показывает величина индекса BNP/B , существует определенное соотношение между подземной продукцией и запасом живых подземных органов, указывающее на число оборотов массы живых подземных органов за год. В луговых степях прирост корней за один год превышает в 1,5 раза их среднюю массу, количество оборотов увеличивается от луговой степи к опустыненной, где оно равно 2. Скорость обновления живых подземных органов увеличивается от луговых степей к опустыненным, где за год запас B обновляется дважды. Данное утверждение не означает, что обновляются все корни и корневища; крупные подземные органы могут существовать в течение многих лет, обновляются лишь мелкие корешки, которые могут отмирать и нарастать два-три раза за сезон. Еще раз подчеркнем, что данная величина BNP/B говорит не об обновлении структуры подземных органов, а только о массе.

Для надземной фитомассы отношение прироста (ANP) к максимальному запасу зеленой фитомассы с увеличением аридности уменьшается от 2 до 1,7. Судя по индексам скорость обновления живой надземной и подземной фитомассы практически одинакова, хотя запас B превышает G_{max} в 5-10 раз.

Сохранение запаса живых подземных органов, как в жаркое засушливое лето, так и в холодную зиму, когда почва промерзает, является залогом выживания травяной экосистемы в любых климатических условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучена продуктивность горных и котловинных травяных экосистем Тувы (31 экосистема), показаны влияние местоположения и пастбищной нагрузки на величины запасов и продукции надземной и подземной фитомассы.

Горные степи резко отличаются друг от друга, как запасами, так и величинами ANP и BNP . Эти различия связаны не столько с высотой расположения экосистем, сколько с геолого-геофизическими параметрами рассмотренных горных хребтов. Полученных данных (8 экосистем) недостаточно для выявления влияния высоты на запасы фитомассы и ее продукцию.

Рассмотрен ряд котловинных степей: от луговых до опустыненных. Все показатели продукционного процесса резко отличаются как в группе настоящих, так и сухих степей. Максимумы и минимумы всех показателей продуктивности варьируют в два раза. Группа сухих степей представлена экосистемами, в которых все показатели продуктивности в разных степях отличаются в 2,5-3,5 раза.

Несмотря на большую вариабельность показателей в одной и той же группе степей, существует явная разница между луговыми, настоящими, сухими и опустыненными. От луговых к опустыненным степям G_{max} уменьшается в 2,5 раза, B - в 6, ANP - в 3, BNP - в 4. Таким образом разница между типами степей больше, чем в степях одного типа.

Предложена система индексов, характеризующих функционирование травянистой растительности. Величина индекса NPP/G_{max} характеризует интенсивность работы фотосинтезирующего аппарата растений; величина индекса BNP/NPP указывает на степень регуляции распределения фотосинтетатов между надземными и подземными органами растений в процессе их роста; величина индекса BNP/B указывает на число оборотов массы живых подземных органов за год.

Показаны: высокая интенсивность работы фотосинтезирующего аппарата; во всех типах степей доля подземной продукции одинакова и составляет 90%; количество оборотов живой подземной фитомассы увеличивается от луговой степи к опустыненной; с увеличением аридности прирост зеленой фитомассы, отнесенный к ее запасу, незначительно уменьшается.

ФИНАСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базилевич Н.И. *Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии*. М.: Наука, 1993. 294 с.
2. *Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности* / Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А. и др. Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1988. 134 с.
3. Вернадский В.И. *Биосфера и ноосфера*. М.: Наука, 1989. 261 с.
4. Вернадский В.И. *Химическое строение биосферы Земли и ее окружения*. М., 1965. 374 с.
5. [ДОКЛАД о состоянии и использовании земель в Республике Тыва в 2019 году \(Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Тыва\)](#). Кызыл, 2020. 112 с.
6. Костюк В.И. [Влияние циклических вариаций солнечной активности на урожайность и качество многолетних трав в условиях кольского севера // Международный научный журнал «Инновационная наука» 2016. №4. Часть 5. С. 25-28.](#)
7. Кудряшова С.Я., Миронычева-Токарева Н.П., Курбатская С.С., Курбатская С.Г., Самдан А.М., Монгуш А.М., Чумбаев А.С. *Структура растительного вещества и запасы фракций фитомассы и мортмассы тундрово-степных экосистем горного массива Монгун-Тайга // "Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона": Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Кызыл, 1-4 октября 2015) Кызыл: ТувГУ РИО, 2015. С. 55-58.*
8. Курбатская С.Г., Курбатская С.С., Кудряшова С.Я., Миронычева-Токарева Н.П., Самдан А.М., Чумбаев А.С., Чаш М.Г. *Почвы и продуктивность ландшафтов северо-восточных предгорий массива Монгун-Тайга // "Биоразнообразие и сохранение генофонда флоры, фауны и народонаселения Центрально-Азиатского региона": Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф. (Кызыл, 1-4 октября 2015) Кызыл: ТувГУ РИО, 2015. С. 153-156.*
9. Курбатская С.Г., Миронычева-Токарева Н.П., Курбатская С.С., Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. *Биологическая продуктивность тундрово-степных экосистем северного макросклона горного массива Монгун-Тайга // Төв Азийн экосистем: судалгаа, хамгаалал, зохистой ашиглалт: "УВС НУУР" Олон улсын ээлжит XIV симп. (3-5 авг. 2018 г., Улангом, Монголия). Улан баатар, 2018. С. 99-102.*
10. Курбатская С.С., Монгуш Ч.О., Кужугет С.К. *Мониторинг динамики продуктивности и запаса растительного вещества песчаного массива Цугер-Элисс Убсунурской котловины Тувы // Природа заповедника "Убсу-Нурская котловина". Красноярск, 2009. Вып. 1. С. 96-104.*
11. Кыргыз Ч.О., Самбуу А.Д., Титлянова А.А. *Сухие и опустыненные степи Тувы // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Титлянова А.А., Базилевич Н.И. Снытко В.А. и др. 2-е издание, исправленное и дополненное. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С.77-84. doi: [10.31251/978-5-600-02350-5](https://doi.org/10.31251/978-5-600-02350-5)*
12. Ляпунов А.А., Титлянова А.А. *Системный подход к изучению обменных процессов в биогеоценозе // Бот. журнал, 1974. Т. 59. №8. С.1081-1092.*
13. *Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова, В.В. Смирнов, Л.Е. Родин, Н.Т. Нечаева, Ф.И. Левин. М.: Мысль, 1978. 182 с.*
14. Миронычева-Токарева Н.П., Курбатская С.С., Самбуу А.Д., Демдирел А. *Восстановление распаханых степей на каштановых почвах Убсунурской котловины // Почвы Сибири: генезис, география, экология и рациональное использование. Материалы научной конференции, посвященной 100-летию выдающегося организатора почвенной науки Р. В. Ковалева (Новосибирск, 1-4 декабря, 2017). / М.И. Дергачева (отв.ред.) Новосибирск, 2007. С. 112-114.*
15. Намзалов Б.Б. *Степи Тувы и Юго-Восточного Алтая*. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2015. 294 с.
16. Носин В.А. *Почвы Тувы*. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 342 с.
17. Самбуу А.Д. *Основные черты и закономерности высотно-поясного распределения степной растительности хребта Восточный Танну-Ола Тувы // Почвы и растительный мир горных территорий. М., 2009. С. 265-267.*
18. [Самбуу А.Д., Хомушку Н.Г. Чистая первичная продукция восстанавливающихся сухих степей Тувы // Успехи современного естествознания. 2010. № 1. С. 159.](#)
19. Самбыла Ч.Н. *Изучение содоминирующих и сопутствующих видов в запасе надземной фитомассы сообществ гумидных высокогорий Алтае-Саянской горной области // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2017. № 4-1 (196-1). С. 82-86. doi: [10.23683/0321-3005-2017-4-1-82-86](https://doi.org/10.23683/0321-3005-2017-4-1-82-86).*

20. Самбыла Ч.Н. *Структура фитомассы в связи с крутизной склонов в основных фитоценозах высокогорий Тувы* // Естественные и технические науки. 2016. № 10. С. 18–20.
21. Самбыла Ч.Н. Зависимость надземной фитомассы от живого компонента в разных типах сообществ аридных высокогорий Алтае-Саянской горной области// *Sciences of Europe*. 2017. Vol. 1. No. 19 (19). P. 14–21.
22. Титлянова А.А. *Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах*. Новосибирск: Наука. 1979. 149 с.
23. Титлянова А.А. *Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах*. Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1977. 219 с.
24. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П. *Корни, как компонент биоты почв Сибири в травяных экосистемах* // Почвоведение. 1994. №12. С.43-50.
25. Титлянова А.А., Косых Н.П., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П. *Подземные органы растений в травяных экосистемах*. Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1996. 128 с.
26. Титлянова А.А., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Косых Н.П., Кыргыз Ч.С., Самбуу А.Д. *Продуктивность степей* // Степи Центральной Азии. Новосибирск: Новосибирское отделение издательства «Наука», 2002. С. 95–173.
27. Титлянова А.А., Романова И.П. *Причины устойчивости степных экосистем* // Устойчивое развитие малых народов Центральной Азии и степные экосистемы. Тр. V Убсунур. Междунар. симпозиума. Кызыл-Москва: Слово, 1997. С. 16–19.
28. Титлянова А.А., Романова И.П., Миронычева-Токарева Н.П. *Структура растительного вещества степей Убсунурской котловины* // Глобальный мониторинг и Убсу-Нурская котловина Тувы. Тр. IV Междунар. симпозиум. М: Интеллект, 1996. С. 15–19.
29. Титлянова А.А., Самбуу А.Д. *Сукцессии в травяных экосистемах*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 191 с.
30. Титлянова А.А., Френч Н.Р., Шатохина Н.Г. *Антропогенная трансформация травяных экосистем умеренной зоны. Часть 1.* // Изв. СО АН СССР. Серия биологич. 1983. №10. Вып.2. С. 9-21.
31. Титлянова А.А., Шибарева С.В., Самбуу А.Д. Травяные и лесные подстилки в горной степи и лесостепи Тувы // *Сиб. экол. журн.* 2004. Т.11. № 3. С. 425–432.
32. Чистяков К.В., Ганюшкин Д.А., Москаленко И.Г. и др. *Горный массив Монгун-Тайга*. СПб.: «Арт-Экспресс», 2012. 310 с.
33. Шульгин И.А. *Растение и Солнце*. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 252 с.

Поступила в редакцию 04.09.2020; принята 11.11.2020

Опубликована 15.12.2020

Сведения об авторах:

Титлянова Аргента Антониновна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); argenta@issa-siberia.ru

Косых Наталья Павловна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); kosykh@issa-siberia.ru

Курбатская Светлана Суруновна — доктор географических наук, главный научный сотрудник; ГБУ РТ «Тувинский научный центр» (Кызыл, Респ. Тыва); lanakurbatskaya@mail.ru

Кыргыз Чайзу Суван-Ооловна – кандидат биологических наук, генеральный директор Автономной некоммерческой организации "Армия Ирбиса по сохранению редких и исчезающих видов животных" (Кызыл, Респ. Тыва); chaizu@rambler.ru

Миронычева-Токарева Нина Петровна – кандидат биологических наук, зав. лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); mirtok@issa-siberia.ru

Романова Ирина Петровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры фундаментальной медицины и гигиены, Медико-психолого-социального института Хакасского государственного университета (Абакан, Хакасия); romirapet@mail.ru

Самбуу Анна Доржуевна – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, (Кызыл, Респ. Тыва); sambuu@mail.ru

Шибарева Светлана Васильевна – кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); shibareva@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

PRODUCTIVITY OF GRASSLAND ECOSYSTEMS IN THE TYVA REPUBLIC, RUSSIA

© 2020 A.A. Titlyanova¹ , N.P. Kosykh¹ , S.S. Kurbatskaya², Ch.S. Kyrgys³,
N.P. Mironycheva-Tokareva¹ , I.P. Romanova⁴ , A.D. Sambuu⁵ , S.V. Shibareva¹

Address: ¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

²SBI RT «Tuva Scientific Center», Tyva Republic, Kyzyl, Russia. E-mail: ana.kurbatskaya@mail.ru

³NCO "Irbis Army for preservation of rare and endangered animal species", Tyva Republic, Kyzyl, Russia. E-mail: chaizu@rambler.ru

⁴Khakassia State University, Khakassia Republic. E-mail: romirapet@mail.ru

⁵Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS, Kyzyl, Tyva Republic, Russia. E-mail: sambuu@mail.ru

The aim of the study. The aim of the study was to estimate biological productivity of Tyva grasslands.

Location and time of the study. The living and dead above- and belowground phytomass, as well as net primary production, were estimated in the montane ecosystems and depressions of the Tyva Republic, Russia.

Methodology. Field and laboratory studies of the biological production by grasslands were conducted using botanical, geobotanical and ecological methods.

Main results. In the montane ecosystems the aboveground phytomass production was shown to range from 1.3 to 3.6 Mg ha⁻¹ yr⁻¹, whereas the belowground production was evaluated as ranging 10-65 Mg ha⁻¹ yr⁻¹. The belowground production was found to vary widely, being associated with location of mountain ridges, slope geomorphology and grazing, but no association was found with the altitude. In depressions the average green phytomass stock changed from 0.7 to 1.9 Mg ha⁻¹, living belowground phytomass varied 3.4 to 19.3 Mg ha⁻¹. From the meadow steppes to the deserted ones the living above- and belowground stocks decreased 2.7 and 5.7 fold, respectively, whereas the above- and belowground production was estimated to decrease 3 and 4 times, respectively. Several indices to characterize the growth and development, hence the productivity, of herbaceous plants was proposed. The values of the indices calculated for the Tyva grasslands suggested high photosynthetic activity: all studied steppes had the same share of belowground production in the total ecosystem production, i.e. 90%. The turnover rate of the living belowground phytomass was estimated to increase from meadow steppes to the deserted ones, whereas green phytomass increment, as related to its stock, slightly decreased.

Conclusions. The living belowground phytomass stock was found to exceed the green phytomass stock by 5-8 times, both in montane ecosystems and depressions. Preservation of living belowground organs during hot dry summers and cold winters, when soil freezes through, is apparently indispensable for grassland survival under any climatic conditions.

Key words: Tyva; phytomass productivity; net primary production; phytomass stock aboveground production; belowground production; grasslands

How to cite: Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Kyrgys Ch.S., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P., Sambuu A.D., Shibareva S.V. Productivity of grassland ecosystems in the Tyva Republic, Russia // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(2). e110. doi: [10.31251/pos.v3i2.110](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110) (in Russian with the English abstract).

REFERENCES

1. Bazilevich N.I. *Biological productivity of ecosystems in Northern Eurasia*. Moscow: Nauka Publ., 1993. 294 p.
2. *Biological productivity of herbal ecosystems. Geographic patterns and ecological features* / Titlyanova A.A., Bazilevich N.I., Snytko V.A. and others. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1988. 134 p. (in Russian)
3. Vernadsky V.I. *Biosphere and Noosphere*. Moscow: Nauka Publ., 1989. 261 p. (in Russian)
4. Vernadsky V.I. *The chemical structure of the Earth's biosphere and its environment*. Moscow: Nauka Publ., 1965. 374 p. (in Russian)
5. *REPORT on the state and use of land in the Republic of Tyva in 2019* (Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Republic of Tyva). Kyzyl, 2020. 112 p. (in Russian)
6. Kostyuk V.I. Influence of cyclical variations in solar activity on the yield and quality of perennial grasses in the Kola north, *International scientific journal "Innovative Science"*, 2016, No. 4, part 5, p. 25-28. (in Russian)
7. Kudryashova S.Ya., Mironycheva-Tokareva N.P., Kurbatskaya S.S., Kurbatskaya S.G., Samdan A.M., Mongush A.M., Chumbaev A.S. *The structure of plant matter and reserves of phytomass fractions and mortmass of tundra-steppe ecosystems of the Mongun-Taiga mountain massif* In book: Biodiversity and preservation of the gene

- pool of flora, fauna and population of the Central Asian region: Proc. of the IV Int. Sci.-Pract. Conf. (Kyzyl, 10-14 October, 2015). Kyzyl: Publishing House of TuvGU RIO, 2015, p. 55-58 (in Russian)
8. Kurbatskaya S.G., Kurbatskaya S.S., Kudryashova S.Ya., Mironycheva-Tokareva N.P., Samdan A.M., Chumbaev A.S., Chash M.G. *Soils and productivity of landscapes of the northeastern foothills of the Mongun-Taiga massif* In book: Biodiversity and preservation of the gene pool of flora, fauna and population of the Central Asian region: Proc. of the IV Int. Sci.-Pract. Conf. (Kyzyl, 10-14 October, 2015). Kyzyl: Publishing House of TuvGU RIO, 2015, p. 153-156. (in Russian)
 9. Kurbatskaya S.G., Mironycheva-Tokareva N.P., Kurbatskaya S.S., Kudryashova S.Ya., Chumbaev A.S. *Biological productivity of the tundra-steppe ecosystems of the northern macroslope of the Mongun-Taiga mountain massif* In book: Tuv Aziin ecosystems: sudalгаа, khamgaalal, zohistoy ashiglalt: "UVS NUUR" Olon ulsyn eelzhit XIV Symp. (Ulangom, Mongolia, 3-5 August, 2018). Ulan baatar, 2018, p. 99-102. (in Russian)
 10. Kurbatskaya S.S., Mongush Ch.O., Kuzhuget S.K. *Monitoring of the dynamics of productivity and stock of plant matter in the sandy massif of the Tsuger-Eliss of the Ubsunur Basin of Tuva* In book: Nature of the Ubsunur Basin. Krasnoyarsk, 2009. Issue. 1, p. 96-104. (in Russian)
 11. Kyrgys Ch.O., Sambuu A.D., Titlyanova A.A. *Dry and deserted steppes of Tuva* In book: Biological productivity of grass ecosystems. Geographic patterns and ecological features / Titlyanova A.A., Bazilevich N.I. Snytko V.A. et al. 2nd edition, revised and enlarged. Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2018, p.77-84. doi: [10.31251 / 978-5-600-02350-5](https://doi.org/10.31251/978-5-600-02350-5) (in Russian)
 12. Lyapunov A.A., Titlyanova A.A. Systematic approach to the study of exchange processes in biogeocoenosis, *Botanicheskii Zhurnal*, 1974, Vol. 59, No8, p.1081-1092. (in Russian)
 13. Methods of studying biological circulation in various natural zones / N.I. Bazilevich, A.A. Titlyanova, V.V. Smirnov, L.E. Rodin, N.T. Nechaeva, F.I. Levin. Moscow: Mysl' Publ., 1978. 182 p. (in Russian)
 14. Mironycheva-Tokareva N.P., Kurbatskaya S.S., Sambuu A.D., Demdirel A. *Restoration of plowed steppes on the chestnut soils of the Ubsunur depression* // Soils of Siberia: genesis, geography, ecology and rational use. Materials of the Sci. Conf. dedicated to the 100th anniversary of the outstanding organizer of Soil Science R.V. Kovalev (Novosibirsk, 01-04 December, 2017). / M.I. Dergacheva (ed.) Novosibirsk: ISSA SB RAS, 2007, p. 112-114. (in Russian)
 15. Namzalov B.B. *Steppes of Tuva and South-Eastern Altai*. Novosibirsk: Academic Publishing House "Geo", 2015, 294 p. (in Russian)
 16. Nosin V.A. *Soils of Tuva*. Moscow: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1963, 342 p. (in Russian)
 17. Sambuu A.D. *The main features and patterns of the altitudinal-zonal distribution of the steppe vegetation of the Eastern Tannu-Ola ridge of Tuva* In book: Soils and flora of mountain territories. Moscow, 2009, p. 265-267. (in Russian)
 18. Sambuu A.D., Khomushku N.G. *Pure primary production of the regenerating dry steppes of Tuva*, *Advances in current natural sciences*, 2010, No. 1, p. 159. (in Russian)
 19. Sambyla Ch.N. Study of co-dominating and associated species in the volume of above-ground phytomass of humid alpine communities (a case study of the Altai-Sayan mountain region), *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences*, 2017, No. 4-1 (196-1), p. 82-86. doi: [10.23683 / 0321-3005-2017-4-1-82-86](https://doi.org/10.23683/0321-3005-2017-4-1-82-86). (in Russian)
 20. Sambyla Ch.N. Phytomass structure in connection with the steepness of slopes in the main phytocenoses of the Tuva highlands, *Natural and technical sciences*, 2016, No. 10, p. 18-20. (in Russian)
 21. Sambyla Ch. N. Characteristics of high-level phytomass from a living component in various types communities of the Altai-Sayan mountain area arid highlands, *Sciences of Europe. Praha, Czech Republic*, 2017, Vol. 1, No. 19 (19), p. 14-21. (in Russian)
 22. Titlyanova A.A. *Biological cycle of nitrogen and ash elements in grass biogeocenoses*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979, 149 p. (in Russian)
 23. Titlyanova A.A. *Biological carbon cycle in grass biocenoses*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977, 218 p. (in Russian)
 24. Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P. *Roots as soils biota component in Siberian grassland ecosystems*, *Pochvovedenie*, 1994, No.12, p.43-50. (in Russian)
 25. Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P. *Below ground organs of plants in grassland ecosystems*. Novosibirsk: Science. Siberian Publishing Company RAS, 1996.128 p. (in Russian)
 26. Titlyanova A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P., Kosykh N.P., Kyrgys Ch.S., Sambuu A.D. *Productivity of the steppes* In book: Steppes of Central Asia. Novosibirsk: Novosibirsk branch of the Publishing House "Nauka", 2002, p. 95-173. (in Russian)
 27. Titlyanova A.A., Romanova I.P. *Reasons for the stability of steppe ecosystems* In book: Sustainable development of small peoples of Central Asia and steppe ecosystems. Proc. of the V Ubsunur. Int. Symp. Kyzyl-Moscow: «Slovo» Publ., 1997, p. 16-19. (in Russian)
 28. Titlyanova A.A., Romanova I.P., Mironycheva-Tokareva N.P. *The structure of plant matter in the steppes of the Ubsunur Basin* In book: Global Monitoring and the Ubsunur Basin of Tuva. Proc. of the IV Int. Sym. Moscow: «Intellect» Publ., 1996, p. 15-19. (in Russian)

29. Titlyanova A.A., Sambuu A.D. *Succession in grasslands*. Novosibirsk: Publishing house SO RAN, 2016, 191 p. (in Russian)
30. Titlyanova A.A., French N.R., Shatokhina N.G. Anthropogenic transformation of grassland ecosystems in the temperate zone. Report 1, *Bulletin of the Siberian branch of the USSR Academy of Sciences. Series of Biological Sciences*, 1983, No. 10, Issue 2, p. 9-21. (in Russian)
31. Titlyanova A.A., Shibareva S.V., Sambuu A.D. Grass and forest litter in the mountain forest-steppe of Tuva *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*, 2004, Vol. 11, No. 3, p. 425–432. (in Russian)
32. Chistyakov K.V., Ganyushkin D.A., Moskalenko I.G. and others. *Mountain range Mongun-Taiga*. Sankt-Peterburg: «Art-Express» Publ., 2012 310 p. (in Russian)
33. Shulgin I.A. *Plant and Sun*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1973. 252 p. (in Russian)

Received 04 September 2020

Accepted 11 November 2020

Published 15 December 2020

About the authors:

Titlyanova Argenta A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher of the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); argenta@issa-siberia.ru

Kosykh Natalia P. – Candidate of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher of the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); kosykh@issa-siberia.ru

Kurbatskaya Svetlana S. — Doctor of Geographical Sciences, Principal Researcher; State Budgetary Institution of the Republic of Tyva "Tuva Scientific Center" (Kyzyl, The Republic of Tyva, Russia); lanakurbatskaya@mail.ru

Kyrgys Chaisu S. – Candidate of Biological Sciences, General Director of the Autonomous Non-Commercial Organization “Irbis Army for preservation of rare and endangered animal species” (Kyzyl, The Republic of Tyva, Russia); chaizu@rambler.ru

Mirnycheva-Tokareva Nina P. – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); mirtok@issa-siberia.ru

Romanova Irina P. – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Chair of Fundamental Medicine and Hygiene in the Medico-psychologico-social Institute of the Khakassia State University (Abakan, The Republic of Khakassia, Russia); romirapet@mail.ru

Sambuu Anna D. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher of the Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS (Kyzyl, The Republic of Tyva, Russia); sambuu@mail.ru

Shibareva Svetlana V. – Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); shibareva@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

**ВЛИЯНИЕ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКИ И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СУХИХ СТЕПЕЙ ТУВЫ**© 2020 А.А. Титлянова¹ , Ч.С. Кыргыз², А.Д. Самбуу³ 

Адрес: ¹ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, проспект Академика Лаврентьева, 8/2, г.Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

² АНО "Армия Ирбиса по сохранению редких и исчезающих видов животных", ул. Островского, 10-60, г.Кызыл, 667003, Респ. Тыва, Россия. E-mail: chaizu@rambler.ru

³Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, 667007, Респ. Тыва, Кызыл, ул Интернациональная, 117а. E-mail: sambuu@mail.ru

Цель исследования. Изучение особенностей биологической продукции фитомассы в степных пастбищных экосистемах Тувы.

Место и время проведения. Продукционный процесс изучали в пяти пастбищных экосистемах, расположенных в Убсунурской котловине Тувы, в два периода (1998–2000 и 2008–2010 годы).

Методология. Полевые и лабораторные исследования биологической продуктивности пастбищных экосистем проводили с применением геоботанических, ботанических и экологических методов анализа.

Основные результаты. Изучение продукционных процессов под влиянием пастбищной нагрузки показало, что все величины, характеризующие продукционный процесс, меняются в зависимости от интенсивности пастбищной нагрузки и погодных условий года. Самая высокая пастбищная нагрузка была на пастбище Эрзин, а самая низкая – на пастбище Ямаалыг. На пастбище Эрзин запас живой фитомассы (G) во все годы наблюдений колебался в пределах 0,3–0,6 т/га, запас живых подземных органов (R) изменялся от 4,5 до 11, 5 т/га.

На пастбище Ямаалыг наименьший запас G составил 0,5 т/га, а самый высокий – 1,1 т/га; а минимальный и максимальный запасы R – 7,8 и 20,1 т/га, соответственно. Следовательно, на пастбищах как с самой высокой (Эрзин), так и с самой низкой нагрузкой (Ямаалыг,) запасы растительного вещества в годовой динамике (в течение 6 лет) могут меняться в 2–3 раза. Еще сильнее варьируют величины продукции. Надземная продукция (ANP) на пастбище Эрзин изменялась от 0,4 до 1,2 т/га в год, то есть в 3 раза. На пастбище Ямаалыг ANP изменялась от 1,2 до 2,0 т/га в год. Изменение подземной продукции (BNP) шире, чем изменения надземной: от 2,7 до 24,5 т/га в год.

Выявлены основные характеристики продукционного процесса в зависимости от погодных условий и пастбищной нагрузки. На одном и том же пастбище (Ончалаан) в зависимости от погодных условий надземная продукция ANP может меняться в 4 раза (от 3,7 до 0,9 т/га в год), подземная продукция BNP – также в 4 раза (от 4 до 18 т/га в год). Более устойчивым оказалось пастбище с высокой пастбищной нагрузкой, где ANP меняется от 0,4 до 0,8 т/га в год, а BNP – от 5 до 8 т/га в год. Показано, что сезонные гидротермические условия (теплая и влажная осень предшествующего года и дождливое лето текущего сезона) способствуют увеличению надземной продукции. Проанализированы пространственная и временная изменчивость показателей продуктивности. Установлено, что для таких показателей, как максимальный запас зеленой фитомассы, величина надземной продукции и запас мертвой подземной фитомассы пространственная изменчивость несколько больше временной. Показано, что в оба периода самая высокая надземная продукция обусловлена летними обильными дождями. Меньшие изменения величин продукции на пастбище с очень высокой нагрузкой объясняются, по-видимому, высокой устойчивостью к стравливанню доминирующих видов травостоя на данном пастбище.

Заключение. Установлено, что величины запасов растительного вещества изменяются в меньшей степени, чем величины продукции. Особо резкими изменениями в разные годы отличается подземная продукция. Повышение величины ANP практически всегда сопровождается снижением запасов живых подземных органов растений и часто уменьшением величины BNP, что связано с особенностями круговорота азота. Величина подземной продукции чрезвычайно изменчива и не соответствует динамике надземных органов. Наивысшая величина подземной продукции в 2008 году не объясняется погодными условиями и связана, вероятно, с повышенным поступлением солнечной радиации. Изменчивость величины подземной продукции гораздо выше, чем надземной. Не найдено прямой зависимости между величиной BNP и погодными условиями. Несмотря на различные методы определения параметров продукции фитомассы, их изменчивость в пространстве и во времени приблизительно одинакова.

Ключевые слова: продуктивность; чистая первичная продукция; запасы фитомассы; надземная продукция; подземная продукция; травяные экосистем; пастбищная нагрузка

Цитирование: Титлянова А.А., Кыргыз Ч.С., Самбуу А.Д. Влияние пастбищной нагрузки и погодных условий на продуктивность сухих степей Тувы // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. е113. doi: 10.31251/pos.v3i2.113

ВВЕДЕНИЕ

В Туве все степные экосистемы используются как пастбища. По официальным данным площадь пастбищ Тувы составляет 3400 тыс. га (Доклад..., 2020) из них вероятно, около трети приходится на горные и 2/3 на котловинные травяные экосистемы. Воздействие выпаса на растительность зависит от вида выпасаемых животных, от их численности, т.е. от нагрузки на единицу площади, способа выпаса, типа растительности, почвы, метеоусловий, рельефа местности и многих других факторов (Титлянова, Самбуу, 2016). Величины надземной продукции в травяных экосистемах, используемых под пастбища, зависят как от типа экосистемы, так и от количества пасущихся животных, поедающих летом зеленую фитомассу, зимой – ветошь.

Пастбища Тувы изучали многие ученые в разное время (Лысенков, 1969; Горшкова, 1992; Горшкова, Зверева, 1982; Горшкова, Сахаровский, 1983; Голубева, Полянская, 1990; Титлянова и др., 2002), однако оценка чистой первичной продукции не была проведена. Целью данного исследования являлось определение величины чистой надземной и подземной первичной продукции в сухих степях с различной пастбищной нагрузкой.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определения понятий продуктивности, запасов растительного вещества и чистой первичной продукции рассмотрены в статье «Продуктивность травяных экосистем Тувы» в этом же номере журнала (Титлянова и др., 2020).

Местом исследования являлись сухие степи Убсунурской котловины Тувы. Было выбрано пять участков степей с различной пастбищной нагрузкой. (рис.1) Описание растительности на каждом участке проводили ежегодно в июле. Пробы растительности отбирали в мае, середине июля, начале сентября в два периода 1998–2000 и 2008–2010 гг. Оценка надземной и подземной продукции была выполнена путем использования балансовых уравнений (Титлянова, 1977).

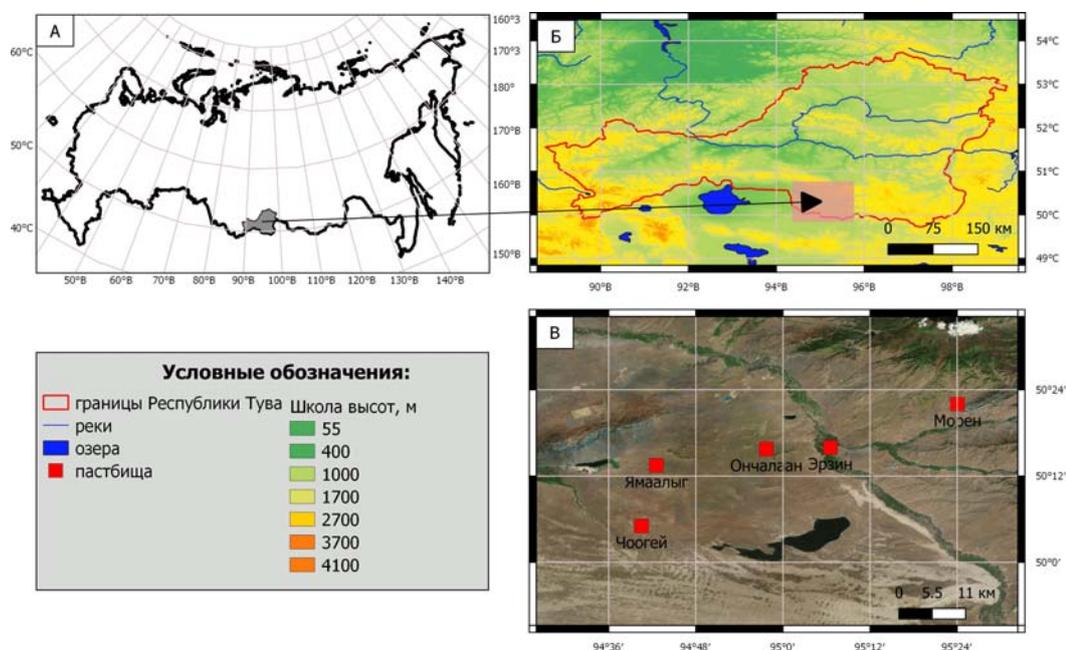


Рисунок 1. Картограмма расположения изучаемых пастбищ: А – расположение Республики Тувы на карте России; Б – расположение района исследования на карте Республики Тувы; В – месторасположение пастбищ.

Особое внимание было уделено оценке интенсивности пастбищной нагрузки. Многие ученые изучали пастбищную дигрессию и выделяли несколько ее стадий (Горшкова, 1954; Горшкова и др., 1977; Волкова и др., 1979; и другие). К сожалению, в отечественной литературе при описании стадий пастбищной дигрессии почти никогда не указывают вид и количество пасущихся животных. В результате не понятно, что такое средняя и сильная стадия дигрессии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка продуктивности пастбищ Убсунурской котловины. Влияние пастбищного пресса с его различной интенсивностью было исследовано на пастбищах в сухих степях Убсунурской котловины (Афанасьев, Ротова, 1986; Курбатская и др., 2002; Курбатская, Тулуш, Курбатская, 2004; Кыргыс, 1997; Кыргыс, 2001; Кыргыс, 2002; Самбуу, 2000; Самбуу, 2013; Самбуу, Аюнова, 2016; Титлянова, Самбуу, Кыргыс, 2000). Убсунурская котловина расположена в южной части Тувы на границе с Монголией. На равнинных участках и на склонах останцов наиболее распространены сухие мелкодерновинные степи.

Среди исследованных пастбищ два находились на террасах рек и три – на пологих склонах останцов. Общая характеристика пастбищ представлена в таблице 1.

Таблица 1

Пастбища Убсунурской котловины (общая характеристика)

Координаты	Местоположение	Тип экосистемы	Растительная ассоциация	Виды-доминанты	Почва	Тип использования
50° с.ш., 94° в.д	Южный склон останца Ончалаан	Сухая степь	Злаково-разнотравная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Koeleria cristata</i>	Каштановая щебнисто-песчаная	Нагрузка (1,2 га на овцу)
50° с.ш., 94° в.д	Южный склон останца Ямаалыг	Сухая степь	Злаково-разнотравная с караганой карликовой	<i>Caragana pygmaea</i> , <i>Stipa krylovii</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Artemisia frigida</i> , <i>Festuca valesiaca</i>	Каштановая супесчаная	Нагрузка (10 га на овцу)
50° с.ш., 95° в.д	Юго-восточный склон останца Чоогей	Сухая степь	Злаково-разнотравная	<i>Stipa krylovii</i> , <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Koeleria cristata</i>	Каштановая суглинистая	В стадии восстановления
50° с.ш., 95° в.д	Первая терраса р. Эрзин	Сухая степь	Разнотравно-злаковая	<i>Artemisia frigida</i> , <i>Potentilla acaulis</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Ephedra monosperma</i>	Каштановая суглинистая	Нагрузка (0,5 га на овцу)
50° с.ш., 95° в.д	Коренная терраса р. Морен	Сухая степь	Злаково-разнотравная	<i>Achnatherum splendens</i> , <i>Stipa krylovii</i> , <i>Agropyron cristatum</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Koeleria cristata</i>	Каштановая суглинистая	Не опр.

Травостой пастбища Ончалаан представлен небольшим количеством видов (12). Доминанты: *Stipa krylovii*, *Artemisia frigida*, *Cleistogenes squarrosa*. Пастбище постоянно (в течение десятков лет) используется как зимнее с небольшой нагрузкой (1,2 га на овцу). Устойчивость данного пастбища объясняется неизменностью пастбищного пресса. Наблюдения показали, что видовой состав сообщества сохраняется (Титлянова, Самбуу, 2016).

Пастбище Ямаалыг в течение не менее 30 лет было под сильной круглогодичной нагрузкой (0,3 га на овцу). За это время произошло почти полное выпадение дерновинных злаков, замена их корневищной осочкой, полукустарничками (*Artemisia frigida*), непоедаемым многолетником (*Potentilla acaulis*) и однолетниками. В 1995 г. урочище Ямаалыг было включено в состав природного биосферного заповедника «Убсунурская котловина». Пастбище использовалось круглогодично с нагрузкой 10 га на овцу. Со снижением пастбищной нагрузки началось быстрое

восстановление степного травостоя. Однако слишком малая нагрузка привела к неблагоприятным изменениям – доля *Caragana pygmaea* в фитомассе травостоя увеличилась до 38% (2009 г.), территория закустарилась, что могло привести к потере пастбища. С 2011 года пастбищная нагрузка увеличилась, она стала круглогодичной, сильной. Изменение в травостое началось немедленно – участие *Caragana pygmaea* в фитомассе снизилось с 38 до 8 %.

В течение многих лет до 1995 года пастбище Чоогей круглогодично находилось под сильной пастбищной нагрузкой – 0,25 га на овцу. С 1998 по 2000 г. круглогодичная нагрузка составляла 10 га на овцу. С 2008 г. урочище использовалось как летнее и зимнее пастбище с отдыхом весной и осенью. Нагрузка в этот период повысилась в 3 раза (3,3 га на овцу), что соответствует слабому выпасу.

До 1990 г. пастбище Эрзин характеризовалось умеренной нагрузкой. С начала 1990-х годов выпас скота на пастбище Эрзин резко увеличился и составил 0,3 га на овцу. Травостой изменился и обеднел. Разрослась несъедобная *Potentilla acaulis*, полукустарнички *Artemisia frigida* и *Ephedra monosperma*. Травостой сильно стравлен, высота его не превышает 3 см, лишь отдельные ковыли достигают 10 см.

Наиболее деградированное пастбище Морен использовалось круглогодично с нагрузкой 0,17 га на овцу по 1998 год. В 1999 г. пастбище было полностью покинуто, и его растительность начала восстанавливаться. Восстановление видов растений в травостое сбитого пастбища начинается с появления в первый же год злаков, характерных для сухих степей: *Leymus chinensis*, *Stipa orientalis* и *Stipa krylovii*. На второй год в травостой входят *Allium ramosum* и *Allium senescens*. За пять лет отдыха травостой практически восстановился и на пастбище снова начался выпас животных. К 2010 году видовой состав травостоя соответствовал видовому составу фитоценоза сухой степи.

Как мы уже отмечали ранее (Титлянова, Самбуу, 2016), степные экосистемы находятся в постоянной сукцессии, в зависимости от продолжительности и типа использования, времени года и вида пасущихся животных. Состояние пастбища зависит от нагрузки, любое изменение нагрузки включает сукцессию. При постоянной умеренной нагрузке сукцессия останавливается на определенной стадии, при увеличении нагрузки исчезают степные виды растений и появляются сорные, при сверхтяжелой нагрузке исчезает травяной покров, жизнь фитоценоза сохраняется только в почве. При уменьшении нагрузки экосистема переживает несколько стадий сукцессии и при внедрении и все большем разрастании кустарниковых видов, тип экосистемы может измениться – травяной фитоценоз переходит в кустарниковый.

В течение шести лет изучалось 5 пастбищ: длительное, круглогодичное, постоянное использование с низкой нагрузкой (Ончалаан); очень низкая, но круглогодичная нагрузка после перевыпаса (Ямалыг); круглогодичная сильная нагрузка на пастбище сменилась вначале на недостаточную, а затем умеренную (Чоогей); постоянная сильная нагрузка (Эрзин); полный сбой и восстановление (Морен). Оценка запасов растительного вещества и чистой первичной продукции пастбищ была проведена в два периода 1998-2000 и 2008-2010 гг. (табл. 2, 3).

Отметим, что во втором периоде произошло повышение запасов всех компонентов фитомассы. На устойчивом пастбище Ончалаан запас *Gmax* (среднее за три года) на 25% выше, чем в первом периоде, в то же время запас мертвой надземной фитомассы не менялся. Сильные изменения отмечены для подземной фитомассы, ее запасы во втором периоде почти в два раза выше, чем в первом.

Изменения на пастбище Ямалыг величины *Gmax* не происходит, в то время как запасы (*D+L*), *B* и *V* значительно возросли. На пастбище Чоогей запасы надземной фитомассы во втором периоде несколько выше, чем в первом периоде, в то время как запасы подземной фитомассы значительно выше. Как это ни странно, запасы всех компонентов на интенсивно используемом пастбище Эрзин изменились мало, просматривается лишь их небольшое увеличение. На пастбище Морен масса живых надземных и подземных органов растений близка, а мертвых подземных органов ниже, чем на пастбищах Ончалаан, Ямалыг, Чоогей. Приведенные в таблицах величины *ANP* получены без учета количества фитомассы, съеденной животными. Исходя из оценки количества фитомассы, съеданной одной овцой за один год (730 кг в год) (Горшкова и др., 1977) можно рассчитать величину надземной продукции с учетом потребленной пищи (табл. 4).

Таблица 2

Запасы надземной фитомассы и чистой первичной надземной продукции пастбищ

Название пастбища	Запас, т/га; продукция (т/га в год)	Первый период					Второй период				
		1998	1999	2000	Среднее значение	Стд.откл.	2008	2009	2010	Среднее значение	Стд.откл.
Ончалаан	<i>Gmax</i> *	1,1	1,0	0,7	0,9	0,2	1,2	1,2	1,1	1,2	0,1
	<i>D+L</i> **	1,5	3,3	2,5	2,4	0,9	1,9	3,3	2,6	2,6	0,7
	<i>ANP</i> ***	2,2	2,8	0,9	2,0	1,0	1,9	3,7	1,7	2,4	1,1
Ямаалыг	<i>Gmax</i>	0,7	0,9	0,9	0,8	0,1	1,1	0,9	0,5	0,8	0,3
	<i>D+L</i>	1,7	1,7	2,1	1,8	0,2	2,8	3,6	3,5	3,3	0,5
	<i>ANP</i>	1,5	1,5	1,2	1,4	0,2	1,3	1,9	2,0	1,7	0,4
Чоогей	<i>Gmax</i>	1,0	0,7	1,2	1,0	0,3	1,2	1,1	1,2	1,1	0,1
	<i>D+L</i>	2,0	1,4	2,1	1,8	0,4	2,0	2,3	2,2	2,1	0,2
	<i>ANP</i>	0,7	1,2	0,9	0,9	0,2	1,1	3,1	1,5	1,9	1,0
Эрзин	<i>Gmax</i>	0,5	0,3	0,5	0,4	0,1	0,6	0,5	0,4	0,5	0,1
	<i>D+L</i>	0,9	0,6	0,6	0,7	0,3	1,0	0,9	0,4	0,8	0,3
	<i>ANP</i>	0,5	0,8	0,5	0,6	0,2	0,6	0,8	0,4	0,6	0,2
Морен	<i>Gmax</i>	-	-	-	-	-	1,1	1,2	1,1	1,1	0,1
	<i>D+L</i>	-	-	-	-	-	1,8	2,5	2,2	2,2	0,4
	<i>ANP</i>	-	-	-	-	-	3,1	2,1	1,7	2,3	0,7

* *Gmax* – максимальный запас зеленой фитомассы;** *D+L* – запас надземной мортмассы (ветошь и подстилка);*** *ANP* – надземная продукция

Таблица 3

Запасы подземной фитомассы и чистой первичной подземной продукции пастбищ

Название пастбища	Запас, т/га; продукция, т/га в год	Первый период					Второй период				
		1998	1999	2000	Среднее	Стд.откл.	2008	2009	2010	Среднее	Стд.откл.
Ончалаан	<i>B</i> *	6,7	6,4	8,4	7,2	1,1	18,7	14,8	9,9	14,5	4,4
	<i>V</i> **	18,6	14,7	8,4	13,9	5,1	25,7	21,7	17,6	21,7	4
	<i>BNP</i> **	13,4	14,1	4,1	10,5	5,5	18,0	15,1	7,2	13,4	5,6
Ямаалыг	<i>B</i>	15,1	7,8	10,8	11,2	3,6	20,0	15,3	10,3	15,2	4,8
	<i>V</i>	16,5	17,6	14,3	16,1	1,6	25,7	25,2	17,8	22,9	4,4
	<i>BNP</i>	20,1	4,9	4,5	9,8	8,9	18,9	24,5	2,7	15,4	11,3
Чоогей	<i>B</i>	11,3	6,1	7,4	8,3	2,7	18,0	14,7	8,6	13,8	4,7
	<i>V</i>	13,7	19,8	11,4	15,0	4,3	25,4	21,9	17,0	21,4	4,2
	<i>BNP</i>	4,9	11,8	11,4	9,4	3,9	18,5	19,1	6,3	14,6	7,2
Эрзин	<i>B</i>	10,9	4,5	6,5	7,3	3,3	11,5	5,7	7,3	8,2	2,9
	<i>V</i>	10,6	13,3	8,6	10,8	2,3	12,1	14,4	9,4	12,0	2,5
	<i>BNP</i>	6,3	4,8	6,9	6,0	1,1	7,8	5,5	6,1	6,5	1,2
Морен	<i>B</i>	-	-	-	-	-	17,6	13,8	7,9	13,1	4,9
	<i>V</i>	-	-	-	-	-	17,1	19,8	14,4	17,1	2,7
	<i>BNP</i>	-	-	-	-	-	24,2	15,3	7,1	15,5	8,5

* *B* – общая масса живых подземных органов; ** *V* – подземная мортмасса; *** *BNP* - подземная продукция

Таблица 4

Величина надземной продукции без учета и с учетом съеденной надземной фитомассы

Пастбище	ANP, т/га в год			
	Первый период		Второй период	
	Без учета съеденного овцами	С учетом съеденного овцами	Без учета съеденного овцами	С учетом съеденного овцами
Ончаалан	2,0	2,3	2,4	2,7
Ямаалыг	1,4	1,5	1,7	1,8
Чоогей	0,9	1,2	1,9	2,1
Эрзин	0,6	2,1	0,6	1,6
Морен	-	-	2,3	2,5

Все исследуемые пастбища находятся в Убсунурской котловине, следовательно, количество выпавших осадков (как зимних, так и летних) для всех пастбищ одинаково. Однако количество выпадающих осадков не означает количество влаги, которое получает экосистема, т.к. пастбища, расположенные на склонах останцов, получают дополнительную влагу за счет стекающей с гор воды. Видимо, количество воды, потребляемой фитоценозом, не сильно отличается, о чем можно судить, анализируя видовой состав фитоценозов пастбищ Ончаалан, Ямаалыг, Чоогей и Морен (см. табл. 1).

Пастбища сильно различаются по количеству пасущихся животных и времени использования травостоя. Следовательно, рассматриваемые пастбища по положению в рельефе, видовому составу фитоценозов и пастбищной нагрузке отражают состояние пастбищ Убсунурской котловины, что дает нам право усреднить все полученные результаты и оценить продуктивность условного (усредненного) пастбища Убсунурской котловины.

Исходя из многолетних наблюдений и литературных данных, пастбище, на котором пасущимися животными съедается количество травы, равное половине надземной продукции (*ANP*), сохраняет свой видовой состав и кормовую ценность. Следовательно, пастбища, подобные «Чоогей», могут прокормить две овцы на одном гектаре в течение шести месяцев весенне-летне-осеннего периода (Титлянова, Шибарева, 2020). Есть основания считать, что половина площади всех пастбищ Убсунурской котловины подобны «Чоогей». Четверть всей площади пастбищ соответствует условиям зимнего пастбища Ончаалан, еще четверть, которую мы условно разделили на две части, занимают полностью выбитые пастбища (черные земли) и травостой всех стадий сукцессии от сорной растительности до растительности типичной сухой степи. Типичная степь — это степь под выпасом (Рис.2).

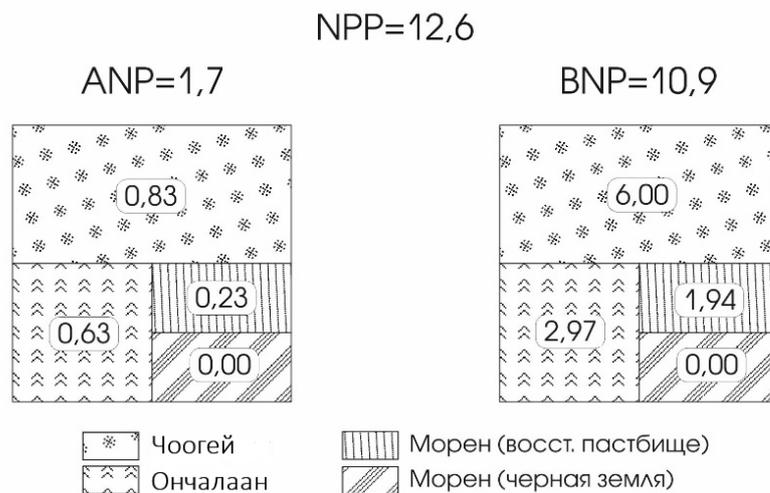


Рисунок 2. Величины надземной и подземной продукции для соответствующих типов пастбищ (тонн на долю площади пастбища в год).

Исходя из площадей различных пастбищ и величин *ANP* и *BNP*, характерных для пастбищ Убсунурской котловины (см. таблицы 2 и 3) можно рассчитать средние величины надземной и подземной продукции на условный гектар сухих степей Убсунурской котловины (Рис. 2).

ANP=1,7; BNP=10,9; NPP=12,6 (т/га в год)

Средние значения соответствуют показателям для сухих степей Дагестана и близки к таковым для сухих степей Херсонской области Украины, Казахстана, Алтая и низкотравных прерий США (Колорадо) (Титлянова, Френч, и др. 1983).

Факторы, влияющие на величины надземной и подземной продукции. Величины надземной и подземной продукции, как уже говорилось выше, зависят от пастбищной нагрузки, а также от погодных условий сезона, от осенне-зимнего периода, предшествующего весенне-летнему сезону, от типа почвы, и, может быть, от солнечной активности. Проанализируем связь между параметрами продуктивности и метеоусловиями двух периодов и отдельных лет (табл.5).

Таблица 5

Метеоусловия Убсунурской котловины среднее за 25 лет (1991-2016) и в периоды наблюдений (1998-2000 и 2008-2010 гг.) (<https://rp5.ru/>)

Показатели		За 25 лет	Год до I периода	I период			Год до II периода	II период		
		1991-2016	1997	1998	1999	2000	2007	2008	2009	2010
Среднемесячные осадки (мм)	Зима (окт-апр)	7,4	3,1	4,8	6,9	7,8	5,4	6,9	9,1	10,7
	Лето (май-сент)	27,1	27,6	23,8	20,8	19,4	16,6	19,8	30,2	26,6
Средняя T(С°)	Лето (май-сент)	15,3	14,5	15,5	15,8	16,3	16,8	15,7	14,3	15

Два исследованных периода отличались по гидротермическим условиям. Среднегодовое количество осадков в первом периоде было меньше средне многолетних (1991-2016 гг.) величин на 20%, второй период по сумме осадков соответствует средне многолетним значениям.

Год, предшествующий первому году первого периода, по годовому количеству осадков мало отличался от 1998 года, но по сумме летних осадков был влажнее. В 2007 году (год, предшествующий первому году второго периода) летнее количество осадков, как и годовое меньше, чем в 2008 году (первый год наблюдений). Годовое количество осадков в течение первого периода было постоянным (152 мм), в то же время летнее количество осадков уменьшалось от первого к третьему году наблюдений. Во втором периоде самым влажным был второй год наблюдений, в котором летнее количество осадков составило 151 мм, годовое 215 мм. Третий год наблюдений по сравнению со вторым был суше (годовое количество 208 мм, летнее 133 мм). Средне летние температуры первого периода были несколько выше средне многолетних, а второй период был слегка холоднее. В течение многих лет наблюдений нами была выявлена только одна зависимость — чем теплее и влажнее была осень, тем выше надземная продукция за летний период следующего года. В настоящей статье мы можем провести более детальный анализ связи продукционного процесса с погодными условиями.

Все средние за три года показатели биотического круговорота в надземном ярусе сообщества (G_{max} , $D+L$, ANP) во втором более влажном периоде выше, чем в первом (табл. 2).

В подземной сфере зафиксированы изменения — значительное увеличение массы корней и корневищ (в 1,1 – 2 раза) во втором периоде. Произошло также и увеличение подземной продукции (в 1,1 – 3 раза). Общая продукция изменяется почти в тех же пределах, что и подземная (1,1 – 2,8 раза) (табл. 3).

Таким образом, мы видим, что в более увлажненном (среднее увлажнение) по сравнению с первым периодом и прохладном втором периоде (2008-2010 гг.) все величины показателей биотического круговорота были несколько выше, чем в первом периоде (1998-2000 гг.). Можно предположить, что показатели продуктивности пастбищ во втором периоде исследования близки к средне многолетним значениям, поскольку метеоусловия второго периода практически одинаковы со средне многолетними за 25 лет (1991-2016 гг.).

Рассматривая показатели продуктивности на всех пастбищах в течение двух периодов, можно сказать, что второй год выделяется повышенной в первый период и высокой во второй период величиной ANP . Повышение ANP сопровождается понижением запаса живых подземных органов (B) и в ряде случаев уменьшением подземной продукции (BNP) (см. таблицы 2 и 3).

Сравнивая оба периода и сопоставляя изменения величин показателей продуктивности с гидротермическими условиями в течение исследуемых периодов, можно с уверенностью сказать: теплая и влажная осень предыдущего года, в ряде случаев многоснежная зима и равномерные

летние дожди, когда суточная норма осадков остается постоянной в течение месяца, приводят к повышению надземной продукции (*ANP*).

Уже было сказано выше, что увеличение надземной продукции часто сопровождается уменьшением запаса живых подземных органов растений и подземной продукции. Это связано с противоположным влиянием потребления влаги и азота — чем больше влаги, тем больше надземная продукция, и потребление азота зеленой частью растений резко увеличивается, что приводит к недостатку азота для роста подземных органов растений. Это явление характерно для исследуемых периодов, и мы фиксируем его на второй год наблюдений. На всех пастбищах на четверть снижался запас живых подземных органов, а на трех из пяти снижалась величина подземной продукции.

Резкое снижение всех показателей продуктивности в третий год второго периода объясняется изменениями гидротермических условий — отрицательные температуры и практически полное отсутствие осадков в апреле, низкие температуры и большая увлажненность в мае (<https://rp5.ru/>). В то же время значения показателей основных величин продуктивности в первый год II периода не могут быть объяснены погодными условиями. Увеличение продуктивности фитоценозов может быть связано с варьированием поступающей фотосинтетически активной радиации (Шульгин, 1973) или даже влиянием солнечной активности (Костюк, 2016).

Изменения показателей продуктивности в первый год первого периода не могут быть объяснены изменением температуры, осадков или радиацией. Это изменение может быть связано с влажностью почвы, которую, к сожалению, не определяли.

Таким образом, теплая и влажная осень, предшествующая наблюдениям, равномерные июнь-июльские дожди и, по-видимому, большее поступление фотосинтетически активной радиации, способствуют повышению надземной продукции. Однако повышение *ANP* практически всегда сопровождается снижением запасов живых подземных органов растений и часто уменьшением величины *BNP*, что связано с круговоротом азота.

Пространственная и временная изменчивость показателей продуктивности. Изменение показателей продукционного процесса даже для одного типа экосистемы (сухая степь) зависит от времени, т.е. погодных условий разных лет, от пространства, т.е. от места, где расположена экосистема, а также от пастбищной нагрузки. Можно сравнить пространственную и временную изменчивость, используя данные по сухим степям, которые расположены в различных местах Тувы и по времени, используя данные по шести годам наблюдений в одних и тех же пастбищных экосистемах. В таблице 6 приведены усредненные показатели по 10 сухим степям и за шесть лет исследования пастбища Ончалаан, а также коэффициенты, оценивающие изменчивость показателей биотического круговорота.

Таблица 6

Средние показатели продуктивности и коэффициенты их изменчивости

Показатели	Запасы, т/га				Продукция, т/га в год		
	<i>Gmax</i>	<i>D+L</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>ANP</i>	<i>BNP</i>	<i>NPP</i>
по сухим степям	1,2	2,2	10,5	10,4	2,1	17,1	19,2
пастбище Ончалаан	1,1	2,5	11,0	18,2	2,2	12,0	14,2
Показатель различия между величинами X_{max}/X_{min}							
по сухим степям	3,0	2,3	3,1	3,5	6,2	3,1	2,7
пастбище Ончалаан	1,7	2,2	3,0	2,2	4,1	4,4	2,2
Вариабельность $X_{max} - X_{min} / X_{среднее}$							
по сухим степям	1,0	0,8	1,1	1,2	1,5	1,1	0,9
пастбище Ончалаан	0,5	0,7	1,1	0,8	1,3	1,2	0,8

Сравнение показывает, что средние величины по пространству и времени совпадают для *Gmax*, (*D+L*), *B* и *ANP*. Для *BNP* не совпадают на 30–40%, для *V* — почти в два раза. В качестве одной из мер изменчивости величин, характеризующих биотический круговорот, используем

отношение величин X_{max}/X_{min} . Данный коэффициент всегда больше единицы. Если он меняется от 1,1 до 1,7, то, судя по опыту, разница между сравниваемыми величинами невелика. Данный коэффициент (X_{max}/X_{min}) показывает максимальную разницу между величинами без учета среднего значения данной величины. Вариабельность показателей с учетом средней величины можно оценить коэффициентом $X_{max} - X_{min} / X_{среднее}$.

Установлено, что наиболее устойчива величина G_{max} , которая изменяется в меньшей степени, чем величина ANP , что объясняется различной динамикой вегетации. В отдельные годы существует раннелетний максимум прироста G , переходящий плавно в среднелетний. В другие годы наряду с интенсивным приростом G в середине лета происходит вторичная вегетация травостоя осенью. В связи с такой различной динамикой продукционного процесса величина ANP в различные годы и в разных местообитаниях может сильно меняться.

Пространственная изменчивость запаса живых подземных органов почти одинакова с изменением зеленой фитомассы и меньше, чем изменение V ; во временном ряду изменение B больше, чем изменение V , что указывает на разнесённость во времени максимумов интенсивностей процессов прироста B и минерализации V . Особый случай представляет собой изменение величины BNP , в степях оно одинаково с изменением B . Во временном ряду величина BNP более изменчива, чем величины B и V . В степях определение всех показателей происходит только в один срок, близкий к моменту максимального запаса G , вследствие чего прирост B после максимального укоса не учитывается. Хотя, возможны два пика запасов живых корней – летом и осенью.

Рассмотрим изменчивость показателей биотического круговорота, разделив их на три функциональные группы: надземная фитомасса (G , $D+L$), подземная фитомасса (B и V) и продукция (ANP и BNP). Наиболее устойчивыми величинами судя по коэффициентам X_{max}/X_{min} и $X_{max} - X_{min} / X_{среднее}$ являются запасы надземной фитомассы, которые меняются в пространстве значительно, чем во времени. Последнее мы связываем с различной и неизвестной нам пастбищной нагрузкой в ряду степей.

В подземной сфере фитоценоза запасы B более устойчивы, чем запасы V , на что указывают оба коэффициента. Запасы мертвых подземных органов меняются чрезвычайно широко: они практически равны запасам живых корней в пространственном ряду и резко отличаются (почти в два раза) во временном. Наиболее изменчивыми величинами являются ANP и BNP , причем ANP варьирует значительно шире, чем BNP . О причинах такой изменчивости ANP сказано выше.

Принимая во внимание оба коэффициента, можно оценить разницу между пространственной и временной изменчивостью. Для таких показателей продуктивности как максимальный запас зеленой фитомассы, величина надземной продукции и запас мертвой подземной фитомассы, пространственная изменчивость больше временной. Для запасов мертвой надземной и живой подземной фитомассы оба типа изменчивости характеризуются одинаковыми коэффициентами, что указывает на одинаковую зависимость данных показателей от расположения в пространственном и во временном рядах. Только один показатель биотического круговорота (подземная продукция) меняется во времени шире, чем в пространстве. При самом грубом обобщении можно сказать, что, несмотря на различные методы определения параметров продуктивности, их изменчивость в пространстве и во времени оказалась приблизительно одинаковой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Любая экосистема расположена в пространстве и на оси времени. Пространство может быть очень широким — разные полушария Земли, климатические пояса, различные растительные зоны. Кроме того, они могут быть расположены в горах или на катенах. В горах экосистемы меняются от вершины до подножья, на катенах по стоку — от аллювиальной через транзитную вплоть до аккумулятивной. Во всех этих точках пространства могут быть различные или близкие типы экосистем. На оси времени экосистема может меняться в сезоне, в течение нескольких лет и в длительных циклах. При любом изменении в пространстве или на оси времени изменяются многие показатели и, прежде всего, интенсивности процессов биотического круговорота.

В последние тысячелетия огромным фактором воздействия стал человек. В редких случаях он выращивает сады на песках и восстанавливает леса, но в основном разрушает природные экосистемы. Воздействие человека разнообразно, в степях основной тип его деятельности — выпас скота. Следовательно, при изучении травяных экосистем учитывается местоположение, время описания и отбора образцов, пастбищный пресс. Отметим, что если первые два параметра можно количественно оценить, то измерить пастбищную нагрузку в степях очень трудно.

География изучает изменения по пространству, т.е. структуру системы, экология — изменения во времени, т.е. функционирование системы. Невозможно одновременно изучить и то и другое. Для этого не хватит ни времени, ни людей, ни денег. Поэтому, изучаешь пространство — теряешь время, изучаешь время — теряешь пространство. Исследователь всегда должен идти на компромисс. Что мы и пытались сделать при оценке продуктивности экосистем Тувы, проведя 50 отборов образцов (пространство) в горных и котловинных травяных экосистемах (см. статью «Продуктивность...» в этом же номере журнала) и 90 отборов (время) на пастбищах.

На основании анализа данных, полученных в сухих степях, находящихся под различной пастбищной нагрузкой, оценена величина продукции травяных экосистем Убсунурской котловины. Эта величина соответствует значениям показателей для сухих степей Дагестана и близка к таковым для сухих степей Херсонской области Украины, Казахстана, Алтая и низкотравных прерий Сев. Америки (Колорадо).

Сезонные гидротермические условия (теплая и влажная осень предшествующего года и дождливое лето текущего сезона) способствуют увеличению надземной продукции. Повышение *ANP* практически всегда сопровождается снижением запасов живых подземных органов растений и часто уменьшением величины *BNP*, что связано с особенностями круговорота азота. Величина подземной продукции чрезвычайно изменчива и не соответствует динамике надземных органов. Наивысшая величина подземной продукции в 2008 году не объясняется погодными условиями и связано вероятно с солнечной активностью, т.е. в с количеством безупречных дней в этом году.

Для таких показателей как максимальный запас зеленой фитомассы, величина надземной продукции и запас мертвой подземной фитомассы, пространственная изменчивость несколько больше временной. Однако, рассматривая все показатели продуктивности, можно сказать, что, несмотря на различные методы определения параметров продуктивности, их изменчивость в пространстве и во времени приблизительно одинакова.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БЛАГОДАРНОСТИ

В обсуждении результатов и подготовке статьи большую помощь оказала Дарья Дмитриевна Макарова, за что мы приносим ей свою искреннюю благодарность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев Н.А., Ротова Н.П. *Влияние пастбищной нагрузки на степные экосистемы // Продуктивность сенокосов и пастбищ.* Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1986. С. 59-61.
2. Волкова В.Г., Кочуров Б.И., Хакимзянова Ф.И. *Современное состояние степей Минусинской котловины.* Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1979. 90 с.
3. Голубева Е.И., Полянская А.В. *Пастбищная дигрессия растительного покрова степей Убсунурской котловины // Информационные проблемы изучения биосферы. Убсунурская котловина – природная модель биосферы.* Пушино, 1990. С. 201-212.
4. Горшкова А.А., Монгуш Л.Т. *Степные пастбища Тувы.* Кызыл: Изд-во ТувИКОПР СО РАН, 1992. 112 с.
5. Горшкова А.А., Гринева Н.Ф. Журавлева Н.А., и др. *Экология и пастбищная дигрессия степных сообществ Забайкалья.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 192 с.
6. Горшкова А.А., Зверева Г.К. *Экология степных сообществ Центральной Тувы // Степная растительность Сибири и некоторые черты ее экологии.* Новосибирск: Наука. Сиб.отд-ние, 1982. С. 19-36.
7. Горшкова А.А., Сахаровский И.Б. Восстановление сбитых степных пастбищ при кратковременной изоляции // *Вестн. с.-х. науки.* 1983. №3. С. 107-109.
8. *Доклад о состоянии и использовании земель в Республике Тыва в 2019 году* (Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Республике Тыва). Кызыл, 2020.
9. *Костюк В.И. Влияние циклических вариаций солнечной активности на урожайность и качество многолетних трав в условиях кольского севера // Международный научный журнал "Инновационная наука" 2016. №4. С. 25-28.*
10. Курбатская С.Г., Тулуш Е.П., Курбатская С.С. *Динамика продуктивности степей Убсу-Нурской котловины (эксперимент в заповедном и пастбищном режимах) // Убсунурская котловина как индикатор биосферных процессов в Центральной Азии. Материалы VIII Убсунурского международного Симпозиума.* Кызыл: ТувИКОПР СО РАН, 2004. С.56-58.

11. Курбатская С.С., Додук А.Д., Кыргыз Ч.С., Самбуу А.Д. Динамика запасов растительного вещества в травяных экосистемах юга Тувы при различных режимах выпаса // Устойчивое развитие континента Азия. Функциональная экология: тр. VII Убсунур. Междунар. симп. (Кызыл, 20-24 сент. 2001 г.). М., 2002. С. 19-22.
12. Кыргыз Ч.С. Продуктивность сухой степи, используемой как зимнее пастбище // Устойчивое развитие малых народов Центральной Азии и степные экосистемы. Кызыл, М.: Слово, 1997. С. 80-83.
13. Кыргыз Ч.С. Динамика видового состава степных экосистем Убсунурской котловины // Роль особо охраняемых природных территорий в развитии региона. Матер. региональной конференции Ассоциации Енисейских заповедников. Абакан, 2002. С. 45-46.
14. Кыргыз Ч.С. Степные экосистемы Убсунурской котловины и их пастбищное использование // Устойчивое развитие континента Азия. Функциональная экология. Биосферные исследования. Матер. Междунар. симп. Кызыл, М.: Слово, 2002. С. 275-276.
15. Лысенков А.А. Пастбища Тувы // Тр. Тув. гос. с.-х. опытной станции. Кызыл, 1969. Вып. 4. С. 83-101.
16. Расписание погоды (<https://tr5.ru/>).
17. Самбуу А.Д. Влияние выпаса на продуктивность сухих степей Убсунурской котловины Тувы // Степи Северной Евразии: Стратегия сохранения природного разнообразия и степное природопользование в XXI в.: Труды II Междунар. симп. Оренбург, 2000. С. 345-346.
18. Самбуу А.Д. Пастбищные дигрессии и восстановительные смены степной растительности в Туве // Современ. проблемы науки и образования. 2013. № 5.
19. Самбуу А.Д., Аюнова О.Д. Стадии пастбищной дигрессии в сухих степях Тувы // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2016. № 5-2. С. 293-295.
20. Титлянова А.А., Самбуу А.Д., Кыргыз Ч.С. Отклик продукционного процесса на изменение пастбищного режима в сухих степях Тувы // Степи Северной Евразии. Матер. Междунар. симп. Оренбург, 2000. С. 371-374.
21. Титлянова А.А. Биологический круговорот азота и зольных элементов в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. 1979. 149 с.
22. Титлянова А.А., Миронычева-Токарева Н.П., Романова И.П., Косых Н.П., Кыргыз Ч.С., Самбуу А.Д. Продуктивность степей // Степи Центральной Азии. Новосибирск, 2002. С. 95-173.
23. Титлянова А.А., Косых Н.П., 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. Том 3. № 2. e110. doi: [10.31251/pos.v3i2.110](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110)
24. Титлянова А.А., Романова И.П., Миронычева-Токарева Н.П. Структура растительного вещества степей Убсунурской котловины // Глобальный мониторинг и Убсунурская котловина Тувы. Тр. IV Междунар. симпозиум. М: Интеллект, 1996. С. 15-19.
25. Титлянова А.А., Самбуу А.Д. Сукцессии в травяных экосистемах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. 191 с.
26. Титлянова А.А., Френч Н.Р., Шатохина Н.Г. Антропогенная трансформация травяных экосистем умеренной зоны. Часть 1 // Изв. СО АН СССР. Серия биологич. Вып.2. 1983. №10. С. 9-21.
27. Титлянова А.А., Шибарева С.В. Продуктивность и функции травяного покрова Тувы // Экосистемы Центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование. Матер. XV Убсунурского Междунар. симпозиума. Красноярск: Изд-во "Офсет", 2020. С. 20-30.
28. Шульгин И.А. Растение и Солнце. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 252 с.

Поступила в редакцию 14.09.2020

Принята 14.12.2020

Опубликована 15.12.2020

Сведения об авторах:

Титлянова Аргента Антониновна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории биогеоценологии ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); argenta@issa-siberia.ru

Кыргыз Чайзу Суван-Ооловна – кандидат биологических наук, генеральный директор Автономной некоммерческой организации "Армия Ирбиса по сохранению редких и исчезающих видов животных" (Кызыл, Респ. Тыва); chaizu@rambler.ru

Самбуу Анна Доржуевна – доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, (Кызыл, Респ. Тыва); sambuu@mail.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

THE EFFECT OF GRAZING AND WEATHER CONDITIONS ON THE PRODUCTIVITY OF TYVA DRY STEPPES, RUSSIA

© 2020 A.A. Titlyanova¹ , Ch.S. Kyrgys², A.D. Sambuu³ 

Address: ¹Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: argenta@issa-siberia.ru

²NCO "Irbis Army for preservation of rare and endangered animal species", Tyva Republic, Kyzyl, Russia. E-mail: chaizu@rambler.ru

³Tyva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS, Kyzyl, Tyva Republic, Russia. E-mail: sambuu@mail.ru

The aim of the study. To investigate specifics of plant production process in steppe pastures in Tyva.

Location and place of the study. The study was performed in 1998-2000 and 2008-2010 in five pasture ecosystems in the Ubsu-Nur depression in Tyva, Russia.

Methodology. Field and laboratory work was carried out to assess the biological productivity of pasture ecosystems employing conventional geobotanical, botanical and ecological methods.

Main results. The study showed that all characteristics of production process change with grazing pressure and weather conditions of the year. The highest grazing pressure was observed at the Erzin pasture, whereas the lowest pressure was found at the Yamaalyg one. The green phytomass stock (G) at the Erzin pasture during all years varied within 0.3–0.6 Mg ha⁻¹, whereas the living belowground stock (R) during six years ranged 4.5–11.5 Mg ha⁻¹. The Yamaalyg pasture had the lowest and the highest G of 0.5 and 1.1 Mg ha⁻¹, respectively, with the minimal and maximal R estimates of 7.8 and 20.1 Mg ha⁻¹, respectively. Therefore it was concluded that both under the highest (Erzin) and lowest (Yamaalyg) grazing pressure the between-years dynamics (over six years) may change as much as 2–3 times. Phytomass production was shown to vary much more. The aboveground production (ANP) at Erzin pasture was found to change from 0.4 to 1.2 Mg ha⁻¹yr⁻¹, i.e. 3-fold. At the Yamaalyg pasture ANP changed 1.2 to 2.0 Mg ha⁻¹yr⁻¹. The belowground phytomass production (BNP) was shown to vary much more as compared with the aboveground production: from 2.7 to 24.5 Mg ha⁻¹yr⁻¹. Some production characteristics were shown to be weather-associated. At one and the same pasture (Onchalaan), depending on the weather conditions, ANP and BNP were found to vary 4 times, i.e. from 0.9 to 3.7 Mg ha⁻¹yr⁻¹ and from 4 to 18 Mg ha⁻¹yr⁻¹, respectively. The highest grazing pressure resulted in less yearly variation, as ANP ranged 0.4–0.8 Mg ha⁻¹yr⁻¹, and BNP ranged 5–8 Mg ha⁻¹yr⁻¹. Such lesser variation was apparently due to the higher resilience of the dominating herbs and grasses to grazing. Analysis of the influence of weather conditions showed that abundant summer precipitation resulted in the highest ANP estimates. No correlation was revealed between BNP and weather conditions. Overall seasonal hydrothermal conditions, such as warm and wet autumn of the preceeding year and rainy summer of the current year) were beneficial for the aboveground plant production.

Conclusion. The phytomass stock the in grazed dry steppes of Tyva was found to vary more as compared with phytomass production. Belowground production showed especially drastic changes from year to year. Increased ANP almost always results in decreased belowground living phytomass stock and often in decreased BNP due to modified nitrogen turnover under grazing. The BNP estimate is extremely volatile and does not follow the aboveground phytomass dynamics. The highest BNP in 2008 could not be attributed only to weather conditions, being most likely due to the increased solar radiation. Spatial and temporal dynamics of the phytomass production showed that the maximal green phytomass and dead belowground phytomass stocks, as well as ANP, displayed greater spatial variation as compared with the temporal one. Overall we conclude that despite different methods to study phytomass production, its spatial and temporal variation is about the same.

Key words: phytomass productivity; net primary production; phytomass stock; aboveground production; belowground production; grasslands

How to cite: Titlyanova A.A., Kyrgys Ch.S., Sambuu A.D. The effect of grazing and weather conditions on the productivity of Tyva dry steppes, Russia // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(2). e113. doi: [10.31251/pos.v3i2.113](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.113) (in Russian with the English abstract).

REFERENCES

1. Afanasiev N.A., Rotova N.A. *Impact of pasture load on steppe ecosystems* In book: The productivity of hayfields and pastures. Novosibirsk: Science Publ., Siberian Branch, 1986, p. 59-61. (in Russian)
2. Volkova V.G., Kochurov B.I., Khakimzyanova F.I. *The current state of the steppes of the Minusinsk depression*. Novosibirsk: Science Publ., Siberian Branch, 1979 90 p. (in Russian)

3. Golubeva E.I., Polyanskaya A.V. *Pasture digression of the vegetation cover of the steppes of the Ubsunur depression* In book: Information problems in the study of the biosphere. Ubsunur Basin - Natural Model of the Biosphere. Pushino, 1990, p. 201-212. (in Russian)
4. Gorshkova A.A., Mongush L.T. *Steppe pastures of Tuva*. Kyzyl: TuvIENR SB RAS Publ., 1992. 112 p. (in Russian)
5. Gorshkova A.A., Grineva N.F., Zhuravleva N.A. and et al. *Ecology and pasture digression of the steppe communities of Transbaikalia*. Novosibirsk: Science Publ., Siberian Branch, 1977. 192 c. (in Russian)
6. Gorshkova A.A., Zvereva G.K. *Ecology of steppe communities of Central Tuva* In book: Steppe vegetation of Siberia and some features of its ecology. Novosibirsk: Science Publ., Siberian Branch, 1982. C. 19-36. (in Russian)
7. Gorshkova A.A., Sakharovskiy I.B. Restoration of downed steppe pastures during short-term isolation *Herald of Agricultural Sci*, 1983, No3, p. 107-109. (in Russian)
8. [REPORT on the state and use of land in the Republic of Tyva in 2019](#) (Office of the Federal Service for State Registration, Cadastre and Cartography in the Republic of Tyva). Kyzyl, 2020. 112 p. (in Russian)
9. [Kostyuk V.I. Influence of cyclical variations in solar activity on the yield and quality of perennial grasses in the Kola north](#), *International scientific journal "Innovative Science"*, 2016, No. 4, part 5, p. 25-28. (in Russian)
10. Kurbatskaya S.G., Tulush E.P., Kurbatskaya S.S. *Dynamics of the productivity of the steppes of the Ubsunur depression (experiment in the reserved and pasture regimes)* In book: Ubsunur Basin as an Indicator of Biosphere Processes in Central Asia. Proc. of the VIIIth Ubsunur International Symposium. Kyzyl: TuvIENR SB RAS Publ., 2004, p.56-58. (in Russian)
11. Kurbatskaya S.G., Doduk A.D., Kyrgys Ch.S., Sambuu A.D. *Dynamics of plant matter reserves in herbaceous ecosystems in southern Tuva under different grazing regimes* In book: Sustainable development of the continent of Asia. Functional ecology: Proc. of the VIIth Ubsunur International Symposium (Kyzyl, 20-24 September 2001). Moscow, 2002, p. 19-22. (in Russian)
12. Kyrgys Ch.S. *Productivity of dry steppe used as winter pasture* In book: Sustainable development of small peoples of Central Asia and steppe ecosystems. Kyzyl, Moscow: Slovo Publ., 1997, p. 80-83. (in Russian)
13. Kyrgys Ch.S. *Dynamics of the species composition of the steppe ecosystems of the Ubsunur depression* In book: The role of specially protected natural areas in the development of the region. Mater. regional conference of the Association of the Yenisei Reserves. Abakan, 2002, p. 45-46. (in Russian)
14. Kyrgys Ch.S. *Steppe ecosystems of the Ubsunur depression and their pasture use* In book: Sustainable development of the continent of Asia. Functional ecology. Biosphere Research. Proc. of the Inter. Symp. Kyzyl, Moscow: Slovo Publ., 2002, p. 275-276. (in Russian)
15. Lysenkov A.A. Tuva pastures *Proceedings of the Tuva State Agricultural Experimental Station*. Kyzyl, 1969. Issue 4, p. 83-101. (in Russian)
16. Weather schedule (<https://rp5.ru/>).
17. Sambuu A.D. *Influence of grazing on the productivity of dry steppes of the Ubsunur depression in Tuva* In book: Steppes of Northern Eurasia: Strategy for Conservation of Natural Diversity and Steppe Nature Management in the 21st Century: Proc. of the IIth Inter. Symp. Orenburg, 2000, p. 345-346. (in Russian)
18. [Sambuu A.D. Pasturable digressy and recovery changes of steppe vegetation in Tuva // Modern problems of science and education](#), 2013, No 5. (in Russian)
19. [Sambuu A.D., Ajunova O.D. Stage of pasture digression in the dry steppes of Tuva // Inter. J.I of Applied and Basic Research](#), 2016. No 5-2, p. 293-295. (in Russian)
20. Titlyanova A.A. *Biological cycle of nitrogen and ash elements in grass biogeocenoses*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1979, 149 p. (in Russian)
21. Titlyanova A.A., Sambuu A.D., Kyrgus Ch.S. *The response of the production process to a change in the pasture regime in dry steppes* In book: Steppes of Northern Eurasia: Strategy for Conservation of Natural Diversity and Steppe Nature Management in the 21st Century: Proc. of the IIth Inter. Symp. Orenburg, 2000, p. 371-374. (in Russian)
22. Titlyanova A.A., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P., Kosykh N.P., Kyrgys Ch.S., Sambuu A.D. *Productivity of the steppes* In book: Steppes of Central Asia. Novosibirsk: Novosibirsk branch of the Publishing House "Nauka", 2002, p. 95-173. (in Russian)
23. [Titlyanova A.A., Kosykh N.P., Kyrgys Ch.S., Mironycheva-Tokareva N.P., Romanova I.P., Sambuu A.D., Shibareva S.V. Productivity of grassland ecosystems in the Tyva Republic, Russia, The Journal of Soils and Environment](#), 2020, Vol.3, Issue 2, e110. doi: [10.31251/pos.v3i2.110](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.110) (in Russian)
24. Titlyanova A.A., Romanova I.P., Mironycheva-Tokareva N.P. *The structure of plant matter in the steppes of the Ubsunur Basin* In book: Global Monitoring and the Ubsunur Basin of Tuva. Proc. of the IVth Int. Sym. Moscow: «Intellect» Publ., 1996, p. 15-19. (in Russian)
25. Titlyanova A.A., Sambuu A.D. *Succession in grasslands*. Novosibirsk: Publishing house SO RAN, 2016, 191 p. (in Russian)
26. [Titlyanova A.A., French N.R., Shatokhina N.G. Anthropogenic transformation of grassland ecosystems in the temperate zone. Report 1, Bulletin of the Siberian branch of the USSR Academy of Sciences. Series of Biological Sciences](#), 1983, No, 10, Issue 2, p. 9-21. (in Russian)

27. Titlyanova A.A., Shibareva S.V. *Productivity and functions of the grass cover of Tuva* In book: cosystems of Central Asia: Research, Conservation, Rational Use. Proc. of the XVth Ubsunur International Symposium. Krasnoyarsk: Ofset Publ., 2020, p. 20-30. (in Russian)
28. Shulgin I.A. *Plant and Sun*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1973. 252 p. (in Russian)

Received 14 September 2020

Accepted 14 December 2020

Published 15 December 2020

About the authors:

Titlyanova Argenta A. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Principal Researcher of the Laboratory of Biogeocenology in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); argenta@issa-siberia.ru

Kyrgys Chaisu S. – Candidate of Biological Sciences, General Director of the Autonomous Non-Commercial Organization “Irbis Army for preservation of rare and endangered animal species” (Kyzyl, the Republic of Tyva, Russia); chaizu@rambler.ru

Sambuu Anna D. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher of the Tuva Institute for Exploration of Natural Resources of the Siberian Branch of the RAS (Kyzyl, The Republic of Tyva, Russia); sambuu@mail.ru

The authors read and approved the final manuscript



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

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ АГРОФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА СКЛОНОВЫХ ПОЧВ ПРЕДСАЛАИРЬЯ**

© 2020 Н. А. Шапорина, Е.А. Сайб

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

Цель исследования: оценить пространственную неоднородность водно-физических свойств комплекса деградированных почв Предсалаирья. В задачи исследований входило: изучить пространственную изменчивость морфологических и агрофизических показателей сопряженного ряда почв разной степени эродированности, дать оценку их вариабельности.

Место и время проведения. Исследования проводились в лесостепной зоне, в пределах Буготакского мелкопочника (55°03' с. ш.; 88°50' в. д.). Анализировали сопряженный ряд почв разной степени эродированности на выпуклом склоне длиной 411 м юго-восточной экспозиции. Период наблюдения с 1 июля по 15 августа 2016 года.

Основные результаты. В работе представлены результаты исследований вариабельности плотности, влажности и температуры комплекса склоновых почв Предсалаирья. Вариабельность показателей пахотного горизонта довольно значительна и зависит от масштаба опробования. Изучение пространственной неоднородности водно-физических свойств почв показало: более сильно уплотнены чернозем оподзоленный неэродированный и луговая намытая почва. Более низкие температуры пахотного слоя отмечены в темно-серой лесной слабоэродированной и луговой средненамытой почвах. Разброс температур между “теплыми” и “холодными” почвами составил 1,8 °С.

Заключение. Подобного рода исследования весьма перспективны в плане совершенствования разрабатываемых и внедряемых в производство адаптивно-ландшафтных систем земледелия в районах со сложным рельефом и наличием эродированных почв. Важнейшим звеном таких исследований является противоэрозионная организация территории. Проблема требует дальнейших научных проработок в сфере дифференциации комплекса мероприятий по географическим районам страны, в том числе по природным зонам.

Ключевые слова: пахотный горизонт; плотность; влажность; температура; вариабельность; латеральная изменчивость, Западная Сибирь

Цитирование: Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Вариабельность агрофизических показателей комплекса склоновых почв Предсалаирья // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. e118. doi: 10.31251/pos.v3i2.118

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в связи с развитием адаптивно-ландшафтного земледелия и изучением биосферной роли почвенного покрова проблемам исследования пространственно-временной изменчивости почвенных свойств уделяется большое внимание. Основой современного точного и устойчивого земледелия является учет специфики пространственной структуры почвенных свойств, а также применение агроуправляющих мероприятий, соответствующих в данный момент времени данному участку поля. Принятию оптимальных управленческих решений при реализации стратегии точного земледелия (ТЗ) способствует оценка варьирования агротехнических показателей. Данные о пространственной и временной изменчивости параметров почвенного плодородия позволяют воздействовать на них в нужном месте и в необходимом количестве (Личман и др., 2011). Внедрение информационных систем в сельскохозяйственное производство способствовало появлению точного земледелия, так как дало возможность обрабатывать данные по природным объектам с пространственно распределенными характеристиками, обеспечивать количественное описание пространственной изменчивости почвы, а также повышать точность оценок почвенных свойств и служить основой для планирования рационального отбора почвенных проб. Все это делает исследование латеральной изменчивости свойств почв, особенно склоновых, весьма актуальным в плане концепции адаптивно-ландшафтного и точного земледелия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования находится в лесостепной зоне юга Западной Сибири, в пределах Буготакского мелкосопочника, который является частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины, расположенной в правобережной части бассейна Оби. Это возвышенная холмистая равнина, основными элементами рельефа которой являются склоны преимущественно выпуклой формы с абсолютными отметками высот 200–300 м, 55°03' с. ш.; 88°50' в. д. Формированию автоморфных почв, занимающие около 80% территории, способствовала хорошая дренированность Предсалаирья. Здесь наиболее распространены выщелоченные, черноземы оподзоленные и темно-серые лесные почвы. Для Буготакского мелкосопочника характерно преобладание черноземов оподзоленных. Большинство склоновых почв, вследствие значительной расчлененности рельефа, больших водозапасах в снежном покрове, интенсивного снеготаяния, в той или иной степени подвержено эрозионным процессам.

В качестве объекта исследований анализировался сопряженный ряд почв, расположенных на склоне юго-восточной экспозиции. Склон длиной 411 м выпуклой формы с уклонами от 1° в верхней части склона до 6° в нижней и абсолютными отметками от 258 до 242 м. Почвенный покров склона составляют оподзоленные черноземы – 60% (занимающие водораздельные и приводораздельные участки), геохимически они сопряжены с темно-серыми лесными почвами, приуроченными к средней и нижней частям склона (на долю которых приходится 39% площади). На шлейфе склона выделены намытые луговые оподзоленные почвы (Орлов и др., 1988).

Вдоль склона на почвах разной степени эродированности было заложено пять разрезов: 1 – чернозем оподзоленный неэродированный; 2 – чернозем оподзоленный слабоэродированный; 3 – темно-серая лесная слабоэродированная почва; 4 – чернозем оподзоленный сильноэродированный; 5 – луговая средненамытая почва. В разрезах отбирались образцы для определения физических свойств, устанавливались автономные регистраторы температуры DS-1921G «Thermochron» до глубины 50 см через каждые 5 см, начиная с поверхности, которые были запрограммированы на фиксацию температуры через каждые полчаса. Определение влажности почв проводилось термостатно-весовым методом, отбор образцов осуществлялся буром через 10 см до глубины 50 см в трехкратной повторности один раз в декаду. Также проводились ежесуточные наблюдения за температурой воздуха и осадками. Период наблюдения по всем параметрам – с 1 июля по 15 августа 2016 года. Кроме того, для исследования вариабельности плотности и влажности пахотного горизонта были заложены экспериментальные площадки размером 1, 25 и 100 м², а для изучения вариабельности морфологических показателей почв вдоль склона была проложена трансекта протяженностью 280 м, на которой через каждые 15 м измерялась высота точки, мощность гумусового горизонта, глубина залегания карбонатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования показали, что весь склон вдоль трансекты четко разделяется на две части. Примерно до 140 м, с перепадом высот 4 м, поверхность склона плавно понижается (коэффициент вариации при этом составляет 1,56%), далее до шлейфа склона перепад высот составляет 9 м. Наблюдается большое количество микроповышений и микрозападин, которые, по нашему мнению, разрывают единые потоки воды при снеготаянии и осадках, что, в свою очередь, приводит к перераспределению зон эрозии и аккумуляции (рис. 1) (Шапорина, 2016; Шапорина, Сайб, 2019), при этом коэффициент вариации возрастает до 13,5%.

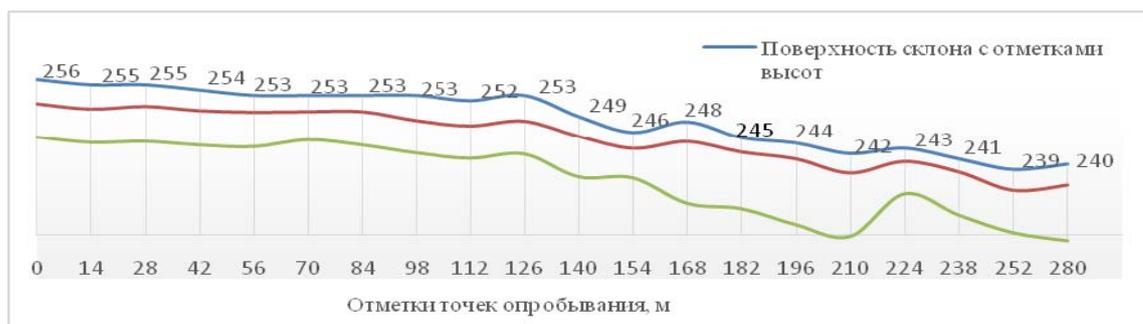


Рисунок 1. Кривые сопряженного колебания поверхности, мощности гумусового горизонта (красная) и глубины залегания карбонатов вдоль склона (зеленая).

Верхняя и нижняя части склона также отличаются друг от друга по мощности гумусового горизонта. В верхней половине преобладают черноземы, средний показатель мощности составляет здесь 40,6 см, с размахом колебаний 18 см (коэффициент вариации 17%), в нижней половине он равен 32,8 см, при размахе колебаний 15 см (коэффициент вариации 18,7%). Такие колебания показателей мощности гумусового горизонта, во-первых, свидетельствуют об увеличении доли серых лесных почв в нижней части трансекты, а во-вторых – о нарастании степени смытости.

Весьма показательным морфологическим признаком почв, связанным с особенностями миграции влаги в почвенном профиле, является глубина вскипания. Среднее значение глубины вскипания в верхней части склона составляет 104,8 см, при этом максимальные значения не превышают 115 см (колебание показателей незначительное – 8,8%). Совершенно другая картина наблюдается в нижней части склона, где среднее значение возрастает до 126,3 см при максимуме 157 см, коэффициент вариации увеличивается в 2,5 раза, а размах колебаний возрастает до 70 см. Такая картина изменчивости глубины залегания карбонатов могла, на наш взгляд, сложиться в результате фрагментации поверхности склона по микрорельефу, о которой говорилось выше (коэффициент корреляции глубины вскипания с микрорельефом составил 0,44). Стекающая по склону во время снеготаяния влага могла задерживаться в микрозападинах, переводя боковой поверхностный сток в вертикальный внутрипочвенный, что, в свою очередь, приводило к выщелачиванию карбонатов и понижению линии вскипания.

Результаты определения плотности показали, что наиболее сильно и равномерно уплотнен чернозем оподзоленный незэродированный, расположенный на плакоре. В нижней части склона луговая намытая почва в целом тоже более уплотнена. Для почв средней части склона характерна относительная рыхлость пахотного горизонта (1,15–1,21 г/см³) и равномерная плотность подпахотного – в пределах 1,31–1,36 г/см³ (табл. 1) (Шапорина, 2016).

Таблица 1

Плотность деятельного слоя эродированных почв Предсалаирья, г/см³ (июль 2016 г.)

Слой, см	Чернозем оподзоленный незэродированный	Чернозем оподзоленный слабо-эродированный	Серая лесная слабо-эродированная	Чернозем оподзоленный сильно-эродированный	Луговая средне-намытая
0–10	1,24	1,14	1,04	1,07	1,30
10–20	1,23	1,29	1,25	1,24	1,30
20–30	1,29	1,32	1,25	1,32	1,21
30–40	1,44	1,35	1,34	1,37	1,40
40–50	1,42	1,42	1,32	1,32	1,31
Среднее	1,31	1,28	1,23	1,25	1,30

Данное предположение подтверждают и результаты исследования увлажнения вертикального профиля трансекты. В верхней части склона, где рельеф выровнен, увлажнены только верхние 50 см толщи, ниже по склону повышенное увлажнение наблюдается и в слое 50–100 см. В метровой толще верхней половины склона на конец июня запасы влаги составили в среднем 283 мм (85% наименьшей влагоемкости – НВ). Отчетливо выделяется повышенное увлажнение профиля ниже по склону – 312 мм, а в районе выделенных микрозападин – 330 мм (НВ и >НВ). Коэффициент корреляции с микрорельефом составил 0,69. Таким образом, установлено, что большое влияние на перераспределение влаги по склону, кроме направления и величины основного мезосклона, также оказывает и микрорельеф склоновой поверхности.

В верхней и нижней частях склона изучалась вариабельность показателей плотности пахотного горизонта. Статистические характеристики плотности экспериментальных площадок представлены в таблице 2. Исследование показало, что на черноземе слабосмытом (площадка 1) показатели плотности пахотного горизонта варьируют в пределах от 0,86 до 1,14 г/см³, при среднем значении 0,98 г/см³. Соответственно, размах колебаний составляет 0,28 г/см³, а коэффициент вариации плотности – 8,0%. Средняя плотность пахотного горизонта темно-серой лесной среднесмытой почвы (площадка 2), которая расположена ниже по склону, равна 1,04 г/см³.

При этом показатели плотности варьируют от 0,87 до 1,21 г/см³ (то есть размах колебаний в 1,2 раза больше, чем в черноземе, и составляет 0,34 г/см³), а коэффициент вариации возрос на 9,4%.

При определении плотности почвы традиционным методом, согласно исследованиям Е. А. Дмитриева (1995), коэффициенты вариации редко превышают 10%. Поэтому вариабельность плотности экспериментальных площадок (7–11%) следует считать довольно значительной.

Анализ литературных данных о варьировании почвенных свойств свидетельствует, что при увеличении площади опробования коэффициент вариации возрастает (Салимгареева, 1995; Самсонова, 2008; Сорокин, 2009). Данный вывод подтверждают результаты и наших экспериментов (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели варьирования плотности на экспериментальных площадках различной площади

Показатель	1 м ²	25 м ²	100 м ²
Среднее, г/см ³	1,18	1,01	1,06
Минимум, г/см ³	1,03	0,85	0,88
Максимум, г/см ³	1,31	1,23	1,24
Коэффициент вариации, %	7	7,3	9,3

Важным практическим результатом при изучении вариабельности свойств почв является грамотное планирование объемов единичных выборок, чтобы число повторностей было достаточным для получения результатов с требуемой точностью и надежностью. По предложенным Е. А. Дмитриевым (1995) расчетам, находим, что объем выборки, способной обеспечить требуемую точность по плотности ($P 0,05 = 5\%$), для экспериментальной площадки, например, площадью 25 м² должен составлять 16 образцов.

Исследования температуры и температурного режима почв чрезвычайно важны, поскольку эти параметры напрямую влияют на интенсивность происходящих в ней биологических, химических, физических и биохимических процессов. В наших исследованиях были выбраны два периода, отличающиеся по погодным условиям. Первый (с 5 по 10 июля) можно охарактеризовать как жаркий и влажный, со средней температурой воздуха +20,9 °С; максимальной – +28,1 °С, минимальной – +14,6 °С; также отмечались обильные осадки. Второй период (с 5 по 10 августа) был теплым и сухим, со средней температурой +18,7 °С и практически полным отсутствием осадков. В один из дней этого периода ночная температура опустилась до +10 °С. Колебания суточных температур наблюдались до глубины почвы 35 см, на глубине 40 см они были почти незаметны, а на глубине 50 см не зафиксированы. На рисунке 2 представлен суточный ход температур в почвах, наиболее контрастных по влажностному режиму – черноземе оподзоленном неэродированном (черная линия), темно-серой лесной почве слабоэродированной (зеленая линия) и луговой средненамытой почве (красная линия). Ход температур отслеживался как на поверхности почвы, так и на глубинах 10 и 20 см. Следует отметить, что наряду с суточными колебаниями в обеих сериях наблюдений были зафиксированы устойчивые тренды: в сторону повышения температур – в первой серии, и снижения – во второй. Размах дневных и ночных колебаний температур отличался по периодам наблюдений. В первом периоде на поверхности почвы он составил в среднем 15 °С, на глубине 10 см – 8 °С и на глубине 20 см – 4 °С, причем по почвенным разностям отличия практически не обнаруживались. Выпадение осадков привело к довольно значимому уменьшению теплового потока, таким образом амплитуда колебаний снизилась до 11 °С.

Ситуация изменялась и во втором, более сухом периоде, где в результате выпадения осадков размах колебаний дневных и ночных температур снизился, соответственно, снизились и среднесуточные температуры. Кроме этого, почвенные разности четко разграничивались по температурному режиму. Так, температура поверхности чернозема оподзоленного была на 6 °С выше температуры поверхности темно-серой лесной слабоэродированной почвы и на 8 °С выше, чем на поверхности луговой средненамытой почвы. На глубине 10 см луговая средненамытая почва в среднем на 5 °С холоднее, в отличие от чернозема и темно-серой лесной почвы, которые на этой глубине абсолютно идентичны по температурному режиму. На глубине 20 см снова наблюдалось четкое разграничение: чернозем оподзоленный неэродированный был на 2 °С теплее темно-серой лесной слабоэродированной почвы и на 4 °С теплее луговой средненамытой (см. рис. 2) (Шапорина, 2016).

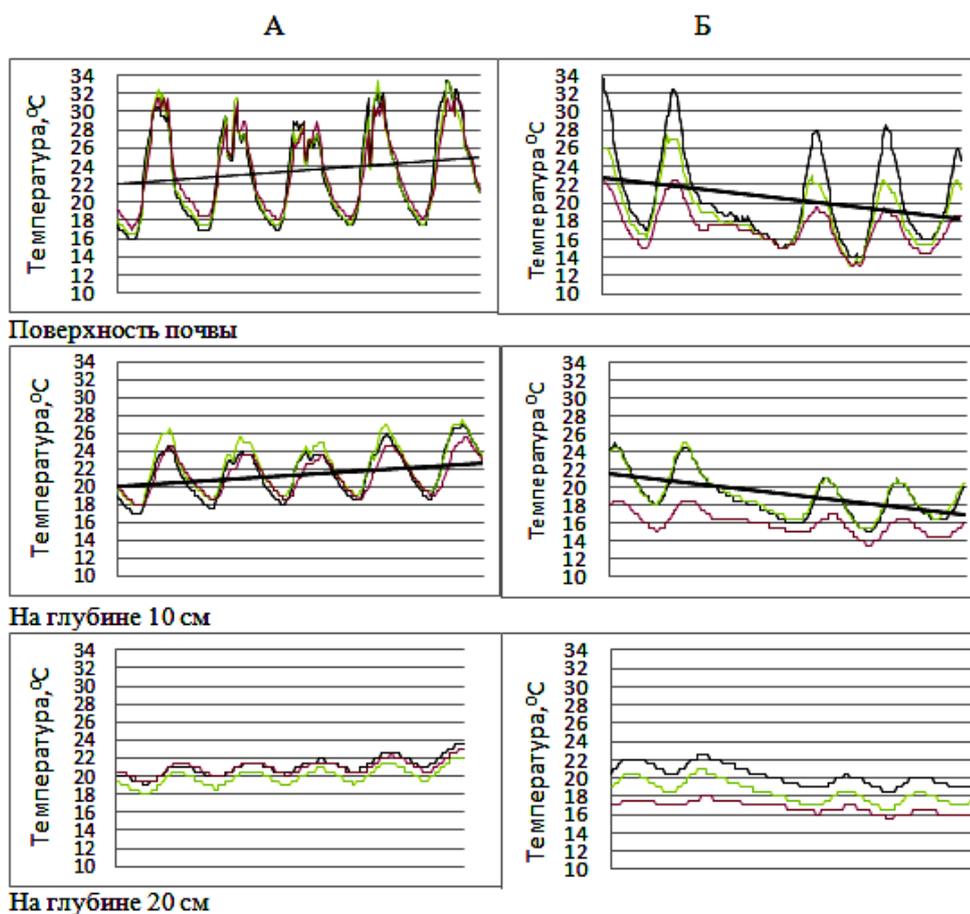


Рисунок 2. Суточный ход температур в профиле эродированных почв Предсалаирья; А – 5–10 июля; Б – 5–10 августа (2016 год).

Все вышесказанное также подтверждается анализом средних значений температуры почв за весь период наблюдений (42 дня). В пахотном горизонте таких почв, как темно-серая лесная слабоэродированная и луговая средненамытая, отмечались более низкие температуры (в среднем на 1,1 °С). В подпахотном горизонте луговая средненамытая почва отличалась от других почвенных разностей на 1,8 °С. Причиной этого, на наш взгляд, могло послужить своеобразие сложения ее профиля. Неравномерное уплотнение, наличие прослоек с низкой плотностью (соответственно, с более низкой теплопроводностью), а также наличие мощной гумусовой толщи, способствуют снижению теплопроводности. Черноземы оподзоленные, в особенности на плакоре, оказались значительно теплее как более плотные и равномерно сложенные. Таким образом, возникновение и развитие пространственных неоднородностей температурного режима почвенного покрова возникают, с одной стороны, за счет пространственной неоднородности свойств почв, с другой – под воздействием метеорологических условий на их поверхности.

Анализ полученных результатов показал, что разброс значений температуры в пахотном горизонте исследуемых почв составил 1,1 °С, причем более низкие температуры отмечены в серой лесной слабоэродированной почве и в луговой средненамытой почве. В подпахотном горизонте из всего комплекса исследуемых почв самой «холодной» оказалась луговая средненамытая почва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты позволяют заключить, что водно-физические свойства пахотных почв в комплексном почвенном покрове склоновых поверхностей Предсалаирья даже в пределах одного поля являются пространственно неоднородными. Установлено, что рассматриваемый склон по целому ряду показателей можно условно разделить на две части. Верхняя часть (примерно до 140 м) пологая, с уклоном 1,5°, ровным характером поверхности и преобладанием черноземов слабосмытых. В нижней части, где преобладают серые лесные средне- и сильносмытые почвы, уклоны достигают 6°, поверхность отличается большим количеством микрозападин и микроповышений. Такое деление характерно в основном для выпуклых склонов Предсалаирья.

Пахотный горизонт почв нижней части склона более плотный и влажный. Вариабельность плотности, влажности, мощности гумусового горизонта, глубины залегания карбонатов достоверно выше, чем в верхней части склона. Согласно «Общесоюзной инструкции по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользования» (1973) земли верхней части исследуемого склона следует отнести ко II-й категории эрозийности – интенсивного использования с преобладанием слабосмытых почв, а земли нижней части склона – к III-й категории: умеренного использования с преобладанием среднесмытых почв. Это не может не накладывать определенного отпечатка на агротехнику поля в целом. Если в верхней части склона достаточно обычной безотвальной обработки строго поперек склона, то в нижней части использование земель в пашне должно осуществляться в системе противоэрозионных мероприятий, с исключением пропашных культур, расширением посевов многолетних трав и зернобобовых, а также заменой чистого пара сидеральным.

Подобного рода исследования в плане совершенствования разрабатываемых и внедряемых в производство адаптивно-ландшафтных систем земледелия весьма перспективны в районах со сложным рельефом и наличием эродированных почв. Важнейшим звеном таких исследований является противоэрозионная организация территории. Проблема требует дальнейших научных проработок в сфере дифференциации комплекса мероприятий по географическим районам страны, в том числе по природным зонам.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // *Геоматика*. 2011. №4. С 89–94. [Elibrary ID](#)
2. Орлов А.Д., Реймхе В.В., Ковалева С.Р. и др. *Эрозия и диагностика эродированных почв Сибири*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. 119 с. [Elibrary ID](#)
3. Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Танасиенко А.А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей и неоднородность гидротермического поля в почвенном покрове склоновых поверхностей Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12-7. С. 1270-1275
4. Шапорина Н.А., Сайб Е.А. Латеральная изменчивость агрофизических показателей комплекса эродированных почв Предсалаирья // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2019. № 11. С.79-85. doi: 10.17513/mjpf.12936
5. Дмитриев Е.А. *Математическая статистика в почвоведении*: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
6. Самсонова В.П. *Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв*. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.
7. Салимгареева О.А. *Пространственная вариабельность физических свойств и водного режима чернозема типичного*. Автореф. дис. ... к.б.н. М., 1995. 24 с.
8. Сорокин А.П. *Особенности пространственной вариабельности почвенных свойств в ландшафтах дельты Волги*. Автореф. дис. ... к.б.н. Астрахань, 2009. 21 с.
9. *Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований*. М.: Колос, 1973. 95 с.

Поступила в редакцию 11.10.2020

Принята 10.12.2020

Опубликована 23.12.2020

Сведения об авторах:

Шапорина Нина Аркадьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); shaporina@issa-siberia.ru

Сайб Екатерина Александровна – младший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов ФГБУН Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); sajb@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи



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

VARIABILITY OF AGROPHYSICAL PROPERTIES OF HILLSLOPE SOILS IN THE CIS-SALAIR REGION (WEST SIBERIA)

© 2020 N. A. Shaporina, E.A. Sayb 

The aim of the study. The aim of the study was to estimate heterogeneity of moisture-related soil physical properties in a sequence of degraded hillslope soils in the cis-Salair region. The main tasks were to examine spatial fluctuations and changes in morphological and agrophysical properties of soils, differing in erosion degree, and assess their variability.

Location and time of the study. The study was conducted in the forest-steppe zone in the Bugotak Hills (Novosibirsk region, Russia). A sequence of arable soils located along the 411 m convex hillslope with south-eastern exposition was investigated since July 01 till August 15, 2016.

Main results. The article describes the variation of soil density, moisture content and temperature in a sequence of hillslope soils. The variation in the ploughed layer was found to be quite high, depending on the sampling scale. Examination of the spatial variability of the soil hydrophysical properties showed that the non-eroded podzolised chernozem (Luvic Greyzem Chernozem) and toeslope meadow soil (Gleyic Greyzem Phaeozem, Colluvic) had the highest density. The lower temperatures were recorded in the slightly eroded dark-gray forest soil (Luvic Greyzem Phaeozem) and in the toeslope meadow soil, accumulating soil material eroded from the topslope. The temperature difference range between the "cold" and "warm" soils was 1.8 °C.

Conclusions. Such studies have important prospects in development and introduction of agricultural technologies that are landscape-adapted, especially in areas with diverse relief and eroded soils. The main focus of such research should be the anti-erosion landscaping. The problem needs to be further studied within the framework of targeting the anti-erosion measures to geographic regions and natural zones.

Keywords: eroded soil; ploughed horizon; soil density; moisture content; soil temperature; soil variability; lateral variability; West Siberia

Citation: Shaporina N.A., Sayb E.A. Variability of agrophysical properties of hillslope soils in the Cis-Salair region (West Siberia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2020. 3(2). e118. doi: [10.31251/pos.v3i2.118](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.118)

REFERENCES

1. Lichman G., Marchenko N. Use of space monitoring and remote sensing for precision agriculture, *Geomatics*, 2011, No.8, p. 89-94. (in Russian) [Elibrary ID](#)
2. Orlov A.D., Rejmhe V.V., Kovaleva S.R. et al. *Erosion and diagnostics of eroded soils in Siberia*. Novosibirsk: Nauka Publ., 1998, 119 p. (in Russian) [Elibrary ID](#)
3. Shaporina N.A., Chichulin A.V., Tanasienko A.A. The lateral variability of agrophysical indicators and the heterogeneity of the hydrothermal field in soil cover of the slope surfaces in the cis-Salair region // *Sovremeny Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2016, No.12-7, p. 1270-1275. (in Russian)
4. Shaporina N.A., Sayb E.A. The lateral variability of agrophysical indicators of the complex of eroded soils of the cis-Salair region // *Sovremeny Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2019, No.11, p. 79-85. doi: [10.17513/mjpf.12936](https://doi.org/10.17513/mjpf.12936)
5. Dmitriev E.A. *Mathematical statistics in soil science: textbook*. Moscow, MSU Publ., 1995, 320 p. (in Russian)
6. Samsonova V.P. *Spatial variability of soil properties: the example of sod-podzolic soils*. Moscow, LKI Publ., 2008, 160 p. (in Russian)
7. Salimgareeva O.A. *Spatial variability of physical properties and water regime of a typical chernozem*, Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. in Biology. Moscow, 1995, 24 p. (in Russian)
8. Sorokin A.P. *Features of the spatial variability of soil properties in the landscapes of the Volga delta*, Abstract of Dissertation ... Cand. of Biol. Sci. in Biology. Astrakhan, 2009, 21 p. (in Russian)
9. *USSR Instruction on Soil Investigations and Compilation of Large-Scale Soil Maps of Land Use*, Moscow, Kolos Publ., 1973, 95 p. (in Russian)

Received 11 October 2020; accepted 10 December 2020; published 23 December 2020

About the authors:

Shaporina Nina A. – Cand. Biol. Sci., Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); shaporina@issa-siberia.ru

Sayb Ekaterina A. – Junior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); sajb@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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



ФИЗИКО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕЗОСКОПИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ИЗУЧЕНИЮ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

© 2020 А. В. Чичулин

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

Цель исследования. Критически проанализировать практику применения системного подхода в почвоведении и выявить существующие проблемы; рассмотреть познавательные возможности микро- и макроскопических подходов при моделировании почвенно-биоклиматических закономерностей.

Методология. Математическое моделирование.

Основные результаты. Предложен новый мезоскопический подход к изучению структуры почвенно-биоклиматических ареалов. Его основу составляют два принципа, названные в работе принципами инвариантности и оптимальности, позволяющие выразить искомые закономерности в форме единой, универсальной, количественной зависимости. Показано, что в математической модели, построенной на основе этих принципов, естественным образом возникают новые, обобщенные понятия, логически объединяющие ранее считавшимися разрозненными, понятия гидро- и терморядов В.Р. Волобуева, коэффициента увлажнения Высоцкого - Иванова и радиационного индекса сухости М.И. Будыко. Кроме того, понятия, детализирующие показатель полноты использования радиационной энергии в биогеоценозе – взаимосвязанные коэффициенты полноты использования тепла и осадков в почвах. Показано, что эти коэффициенты имеют специфические значения для разных почвенно-биоклиматических ареалов. На основе новых показателей проведена группировка почв, отличающаяся в существенных деталях от традиционной.

Заключение. Сделан вывод о том, что новые понятия представляют из себя единую, целостную систему, а подход в целом может быть отнесен к альтернативному физико-теоретическому направлению, в рамках которого природные закономерности описываются экстремальным (вариационным) способом.

Ключевые слова: принципы симметрии; принцип оптимальности; системный подход; гидротермические коэффициенты; идеализации; математическая модель

Цитирование: Чичулин А.В. Физико-теоретические основы мезоскопического подхода к изучению почвенно-климатических закономерностей // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. e116. doi: 10.31251/pos.v3i2.116

ВВЕДЕНИЕ

Одна из поразительных особенностей природы – многообразие возможных схем ее истолкования. Мне это всегда представлялось загадкой. Я не понимаю, почему правильные законы физики допускают такое огромное количество разных формулировок.

Р. Фейнман. Характер физических законов

Современное понимание организации сложных природных систем, включая почвы, опирается на представление об их иерархическом строении. Структурные уровни от низших к высшим различаются не только степенью сложности, но и действующими в них закономерностями и, в общем случае, требуют для своего описания различных наборов переменных. Однако, помимо очевидной сложности изучения таких систем, в иерархичности их пространственно-временной и энергетической структуры кроются и возможности их познания. Дело в том, что иерархическое строение позволяет упрощенно представить единую систему как состоящую из нескольких, более простых подсистем, и по отдельности изучать ее с совершенно различных – микро- или макроскопических позиций (Гладышев, 1988). Однако полное системное понимание иерархического объекта требует логического согласования результатов всех подходов, поскольку *каждый* из них в отдельности является только определенным *приближением*, имеет пределы своих познавательных возможностей, или, как образно

выразились Г. Николис и И. Пригожин (1990), "видит реальный мир лишь через окошко конечной ширины". Это согласование может быть осуществлено различными способами – либо попыткой объединить *приближенные* результаты, полученные при макро- и микроскопическом подходах, либо новой формулировкой задачи, с самого начала рассматривающей макро- и микроуровни объекта исследования в качестве единой системы.

В настоящей работе реализован второй вариант решения задачи – в ней излагаются теоретические основы нового, *мезоскопического* подхода к изучению структурной организации почвенно-климатических ареалов, который, в определенном смысле, рассматривает свойства и закономерности почв в приближении, промежуточном между *макроскопическим* и *микроскопическим*. С методологической точки зрения, оперируя одновременно переменными, относящимися к микро- и макроуровню описания сложной системы, мезоскопический подход обладает преимуществом в тех случаях, когда различные уровни настолько сильно взаимодействуют друг с другом, что их строгое разделение осуществить нельзя. Объединяя определенные преимущества микро- и макроскопических подходов, мезоскопический подход оказывается в состоянии получить новые результаты, которые иным способом получить было нельзя.

Поскольку описываемый подход, по сути, является физико-теоретическим и связан с неизбежными математическими выкладками, то для облегчения их понимания вопросы методологического обоснования подхода, методических приемов построения математической модели и интерпретации конечных результатов рассмотрены параллельно на качественном уровне и по возможности подробнее. Там, где это представлялось необходимым, теоретические вопросы изложены на фоне исторического контекста, а именно развития методологических и методических проблем почвоведения.

В работе особое внимание уделено изложению "генезиса" и результатам применения мезоскопического подхода. В частности, как путем последовательных трансформаций макроскопического подхода можно добиться снятия его ограничений и в конечном счете придать ему обобщенную математическую форму, которая окажется способной к решению новых, более глубоких задач. А также, как в процессе построения математической модели естественным образом возникают новые понятия, выясняются новые закономерности и формулируются новые принципы.

ПРЕДИСТОРИЯ

Формирование теоретических основ научных направлений, изучающих иерархические объекты, на начальных этапах развития связывали почти исключительно с редукционистскими тенденциями, с пониманием того, что объективные характеристики "высших" уровней системы не могут быть получены, если не исследованы универсальные законы поведения элементов "низших" уровней. Предполагалось, что эти законы могут быть изучены на изолированных элементах. Стремление понять свойства целого путем изучения его *изолированных* частей дополнялось неизбежным предположением, что аддитивной суперпозицией их функционирования можно будет объяснить внутренний механизм, управляющий поведением целостной системы (Абрамова, 1978). Для определенных условий такие предположения оказались обоснованными и приводили к разумным результатам. Однако по мере накопления конкретных знаний приходило понимание того, что всякая материальная система своим устройством и внутренними связями накладывает определенные ограничения на проявления *универсальных* законов природы, справедливых для каждого элемента по отдельности, и порождает дополнительные, нелинейные, *системные* связи, которые не вытекают из общих законов природы, хотя и не противоречат им. Таким образом, научное мышление постепенно осознавало необходимость, наряду с движением по пути редукции, одновременно воспроизводить и закономерности *целостных*, многоуровневых структур и, с этой целью, разрабатывать подходы, получившие впоследствии названия холистических, системных, эмерджентных, системно-структурных и т.п.

В почвоведении экспериментальное изучение и простейший теоретический анализ отдельных почвенных свойств и элементарных почвенных процессов, протекающих на нижних иерархических уровнях структурной организации почвы, имеет давнюю традицию. Можно с уверенностью утверждать, что были достигнуты серьезные успехи в изучении и математическом моделировании отдельных физических, химических, физико-химических процессов, протекающих на уровне почвенных горизонтов (Пачепский, 1990; Глобус, 1983). Однако уже задачи теоретического описания движения почвенной влаги, потребовавшие умения решать нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных, а тем более описание совместного

внутрипочвенного процесса тепло-влагообмена с помощью *систем* таких уравнений, недвусмысленно обозначили предел применимости простейших методов в физике почв и существенным образом изменили традиционный характер исследования. Первенствующее значение получили численные методы решения сложных почвенных задач. Однако аналитическое и численное решение далеко не равноценны. Ряды чисел, получающихся как результат численного решения, выражая большой объем полезных знаний, не определяют *внутренних связей*, характеризующих исследуемую задачу, а потому не достаточны для определения общих закономерностей (Гухман, 1973). Вычислительная мощь современных компьютеров не смогла заменить прозрачную смысловую ясность простых линейных закономерностей. Хотя автор уверен, что неподготовленность почвоведов *en masse* к применению численных методов поспособствовала этому не в меньшей степени. Тем не менее, независимо оформилась своеобразная область компенсации, занимающаяся применением и развитием методов обобщения эмпирических результатов – теория подобия и размерности. По нашему мнению, эта теория представляет чрезвычайно важное и перспективное направление для всего почвоведения, хотя в настоящее время она ограничивается в основном рассмотрением вопросов, традиционно относящихся главным образом к физике почв, а именно – гидро- и теплофизическими, а также физико-механическими свойствами почв (Мичурин, 1975; Онищенко, 1988; Усков, Моисеев, 2018; Глобус, 1987).

Проблематичной оставалась возможность не только решения, но даже постановки подобных задач для процессов, протекающих на высших уровнях, т.е. на уровнях почв и почвенного покрова. А ведь именно на этих уровнях формируются почвенные закономерности, вызывающие наибольший интерес почвоведов. Было ясно, что учитывая представление генетического почвоведения о почве как системе с бесконечно большим разнообразием внутренних и внешних связей, имеющих сложную многоуровневую структурную организацию, возможность довести решение такой задачи до конца в аналитической форме, оставаясь при этом на позициях микроскопической физики, может быть реализована только ценой существенных упрощений – различного рода идеализаций и абстракций. Но упрощение задачи имеет предел, за которым теряется истинное подобие принятого приближения к реальному объекту. За этим пределом полученные результаты в лучшем случае могут носить характер только приближенной оценки, в худшем случае – окажутся неправильными по существу и явятся источником глубоких заблуждений (Гухман, 1973; Седов, 1981). Поэтому на практике до сих пор приходится ограничиваться эмпирическими методами, дополненными либо установлением формальных корреляций между почвой и климатом в частных случаях, либо записью громоздких "экологических матриц" (Соколов, 2004).

Несколько слов скажем о динамических математических моделях, которые с полным правом претендуют на использование системного подхода к изучению продукционных процессов в связи с почвенными режимами. Их с определенными оговорками можно отнести к моделям микроскопического уровня, пытающимся с помощью компьютерных технологий связать микро- и макроскопический уровни. Этот подход обладает как своими достоинствами, так и очевидными недостатками: только для своего описания они требуют несколько сотен страниц (Гильманов, 1978; Полуэктов, 2006; Сиротенко, 1981). У этих моделей свои задачи, требующие отдельного рассмотрения. Мы их специально не рассматриваем, хотя и упоминаем для сохранения полноты и общей логики изложения.

Для лучшего понимания разницы между существующими микроскопическими, мезоскопическими и макроскопическими подходами, их ограничений и преимуществ, на качественном уровне опишем специфику всех подходов более подробно.

Традиционный микроскопический подход к моделированию внутрипочвенного тепло-влагообмена предполагает, что нам известны и строение почвенного профиля и свойства всех генетических почвенных горизонтов. Математическое описание внутрипочвенного тепло-влагообмена включает в себя решение системы двух взаимосвязанных дифференциальных уравнений в частных производных, с заданными граничными и начальными условиями, а также тепло-гидрофизических и перекрестных коэффициентов для каждого условно однородного почвенного горизонта. Результатом расчетов является динамика температурного и влажностного полей по всему почвенному профилю за определенный промежуток времени. Из этой динамики гидротермического поля по определенным правилам составляются интегральные эмпирические параметры (например – суммы температур выше 10 °C). Эти параметры и ставятся в соответствие тому почвенному типу, на примере которого апробировалась модель. Заданные гидро- и

теплофизические коэффициенты характеризуют породу как фактор почвообразования, а результирующие температура и влажность – породу и климат вместе. Такой подход удовлетворяет требованиям структурно-системного подхода, но в настоящее время из-за сложности является скорее уникальным исследовательским методом, чем повседневным рабочим инструментом для большинства почвоведов. Потому в настоящее время динамика гидротермического поля почв в подавляющем большинстве случаев изучается экспериментально.

Существующий макроскопический подход изучения почвенно-климатических закономерностей опирается на гидротермические коэффициенты, которые по предположению должны отражать корреляцию между типами теплового и водного режимов и закономерностями распространения почв на земной поверхности. Было предложено несколько гидротермических коэффициентов, представляющих собой различные *эмпирические* комбинации средних температур воздуха и осадков. Рассмотрим два из них, для которых ниже установим асимптотическую связь с теоретической моделью, разработанной в рамках мезоскопического подхода.

Безразмерный коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова

$$K_p = P/E_0 \quad (1)$$

показывает в какой мере выпадающие в данном регионе осадки возмещают испаряемость и получается от деления среднегодовой суммы осадков P [мм] на возможную испаряемость с водной поверхности по эвапориметру E_0 [мм].

Безразмерный радиационный индекс сухости Будыко

$$K_R = R/LP \quad (2)$$

отражает возможность накопления влаги при данных условиях и определяется как отношение между радиационным балансом территории R [ккал см² год] и годовой суммой осадков P , выраженной в калориях скрытой теплоты парообразования, где L [кал см³] – скрытая теплота парообразования, для определенности принята в работе равной 600 [кал см³] = 0.06 [ккал мм⁻¹] (Реймерс, 1990).

Обратим внимание, что в обоих определениях используется понятие потенциально-возможной величины: в одном случае – испарения с водной поверхности, во втором случае - испарения всех осадков. В этом и заключается основная претензия к этим коэффициентам – они характеризуют не процессы, протекающие в почве, а процессы, протекающие в атмосфере. (Забегая вперед, подчеркнем, что в этом же заключена и потенциальная возможность их обобщения, которая и привела в конце концов к развитию мезоскопического подхода, являющегося главной целью настоящей работы). Другими словами, эти два коэффициента, действующие в рамках макроскопического подхода, характеризуют факторы, *не взаимодействующие* с почвенным субстратом. На эту особенность коэффициентов мы обратили внимание на качественном уровне. Но, даже с чисто количественной точки зрения, упомянутые гидротермические коэффициенты должны восприниматься критически. Действительно, испарение – это процесс, в котором взаимодействуют радиационный баланс и осадки, но в атмосфере этот процесс протекает *иначе*, чем в почве. Поэтому, если эти гидротермические коэффициенты рассматривать как количественную характеристику внутрпочвенного взаимодействия тепла и влаги, то следует признать, что они *дают приближенную и искаженную* картину.

Ситуацию с гидротермическими коэффициентами можно охарактеризовать двояко. С точки зрения *микроскопического* подхода, учитывающего внутрпочвенные свойства, гидротермические коэффициенты (1) и (2) не являются *системными* показателями. В системе "почва - атмосфера" они даже не являются граничными условиями. С точки зрения *макроскопического* подхода эти понятия можно рассматривать как системные, но основанные на грубых допущениях в отношении почвы. Макроскопический подход рассматривает почву как бесконечно тонкую пленку, свойства которой не влияют на процесс испарения ни осадков в воздухе, ни воды с поверхности водоемов. Процессы, описываемые радиационным балансом и осадками в такой почве, не взаимодействуют не только с почвой, но и друг с другом. Потому в географическом отношении коэффициенты (1) и (2) отражают не *почвенно-климатические взаимосвязи и закономерности*, а лишь потенциальную пригодность для почвообразования климатических условий. Глубокое теоретическое понимание этих взаимосвязей заменяется на формальное установление корреляций, онтологический смысл которых объясняется "дополнительным" к корреляциям словесным описанием. Можно утверждать, что макроскопический подход в целом, сохраняя математическую простоту, в своей основе содержит сильные идеализации и в этом отношении условно может быть назван грубым.

Сделаем оговорку в связи с использованием понятий грубый, детальный, микро-, мезо-, макроскопический и т.п. Эти понятия являются соотносительными, зависят от контекста и не претендуют на абсолютный смысл. Микроскопический подход в одной задаче может рассматриваться как мезо-, а в условиях другой задачи как макроскопический.

Резюмируя, можно утверждать, что внутрипочвенные свойства и гидротермические коэффициенты с формально-математической точки зрения, являются понятиями, относящимися к разным, напрямую не связанным, иерархическим уровням понимания почвенно-климатических взаимосвязей. И простым перечислением переменных, относящихся к разным уровням, задача не решается. Но реальная-то связь между климатом и почвенными свойствами существует. Поэтому продолжает оставаться актуальным *методологический и теоретический* вопрос: в каких понятиях должна отображаться эта связь, если гидротермические коэффициенты могут отражать ее лишь грубо и формально?

Сформулированный вопрос приводит к необходимости разработки нового, в определенном смысле "промежуточного", мезоскопического физико-теоретического подхода, который, сохраняя простоту макроскопического подхода, более детально может описать процесс взаимодействия климатических факторов и почвы. Такой подход должен удовлетворять ряду условий:

- базироваться на фундаментальных методологических принципах;
- оставаться достаточно простым в математическом отношении;
- не переступать красную черту "переупрощения";
- описывать процессы, протекающие на высших уровнях организации почвы;
- выражать почвенно-климатические закономерности в явном, аналитическом виде.

Оправданием модели, построенной в рамках этих жестких, и даже на первый взгляд взаимоисключающих ограничений, должны быть присущие ей функции полноценной теории: объяснительные, прогностические, способность давать новые результаты.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА В ПОЧВОВЕДЕНИИ

При теоретическом рассмотрении иерархических систем возникает необходимость одновременно работать с переменными, относящимися к разным уровням. Закономерности, действующие в таких системах, отличаются от закономерностей одноуровневых систем. Поэтому необходимо ясное понимание методологических и методических особенностей изучения подобных объектов исследования и общих следствий, вытекающих из них. Методология системных исследований содержит инструментарий, необходимый для рефлексивного осмысления исходных посылок изучения таких систем, а также для выработки адекватного им формального аппарата (Дружинин, Ванярхо, 1989). Рассмотрим и критически оценим некоторые связанные с этой проблемой вопросы, так или иначе затрагиваемые в почвоведении.

Начнем *ab ovo*. В литературе, посвященной системным исследованиям в почвоведении, популярна точка зрения, что системный подход, широко распространившийся в науке и технике лишь во второй половине 20 века, был заложен в основу генетического почвоведения работами В. В. Докучаева еще в конце 19 века и развит в дальнейшем его учениками и последователями (Добровольский, 2005). С этим можно согласиться лишь отчасти. Дело в том, что на качественном уровне системные идеи возникли еще во времена Древней Греции и были достаточно подробно проанализированы в философских системах Платона и Аристотеля (Агошкова и др., 1998). В дальнейшем, начиная с И. Ньютона, *каждая* фундаментальная физическая теория, хотя это специально и не провозглашалось, разрабатывалась как конкретная реализация системного подхода. В принципиальном отношении В. В. Докучаев не был первооткрывателем системного подхода как самостоятельного философско-методологического направления. Он *не провозглашал* его развитие, он *пользовался* естественным для всех естествоиспытателей стремлением искать взаимосвязи между природными феноменами. Как задолго до него и после него, для ученых, например для физиков, было совершенно естественным искать взаимосвязи между влияющими друг на друга, ранее считавшимися противоположностями – пространством и временем, волнами и частицами, устойчивыми и неустойчивыми движениями. Электродинамика, теория относительности, квантовая механика и др. – их все можно назвать физическими системными теориями. Вряд ли все эти физические теории достигли громадных успехов потому, что физики осознали глубокий, мистический смысл системного подхода и выбрали его в качестве руководящей идеей с самого начала. С большим основанием можно утверждать обратное. Во всяком случае, в физике

руководящая роль системного подхода никогда специально не провозглашалась, хотя, по сути, всегда использовалась. Системный подход развился как философско-методологическое обобщение результатов всех наук, *почвоведения в том числе*. В качестве примера, напрямую относящегося к нашей теме, можно привести классическую термодинамику открытых систем, принципиальные идеи которой Л. фон Берталанфи, считающийся основателем системного подхода, напрямую положил в основу своей общей теории систем (Садовский, 1974). Что касается придания такой большой роли формальной связи "В. В. Докучаев – системный подход", то это заслуга не В. В. Докучаева, а скорее его современных интерпретаторов.

В замечательной работе Т. Г. Гильманова (1978) практически на первой же странице встречаем широко известную цитату В. В. Докучаева о "генетической вековечной и закономерной связи между ... мертвой и живой природой, изучение которой составляет высшую прелесть естествознания". Но тут же читаем: "Почему же в первой половине XX века, несмотря на все расширяющееся понимание необходимости целостного, интегрального подхода к изучению сложных систем, не было сделано крупных успехов в синтетическом, количественном изучении сложных динамических систем"? В начале 70-х гг. XX века Т. Г. Гильманов видел причину этого в отсутствии соответствующей вычислительной техники. Забегая вперед, предлагаем сравнить это обоснованное мнение с более поздним, не менее обоснованным, но прямо противоположным мнением, высказанном О.Д. Сиротенко о состоянии дел во второй половине XX века. Оно приведено в конце данного раздела, со ссылкой на А. Г. Топаж (2014).

Но гораздо более важным, чем вопрос приоритета, является вопрос: в какой степени системные идеи реально используются в современном почвоведении? С нашей точки зрения, зачастую преобладает скорее "системное" терминотворчество, чем реальное методологическое осмысление этого вопроса. Интерпретация системных результатов, теоретическое анализ используемых теоретических методов, обсуждаются крайне робко и привлекают внимание в несравненно меньшей степени, чем это диктуется потребностями почвоведения. А здесь много нерешенных вопросов, в которых следует разобраться, поскольку они оказывают влияние на стратегию его развития как науки.

Даже если рассматривать системные идеи В. В. Докучаева в почвоведении как безусловно революционные и концептуально новые, является фактом то, что не во всех направлениях развития почвоведения они привели к развитию принципиально новых системных идей и методов исследования. Задача о почвенно-климатических закономерностях из их числа. Выше мы уже упоминали, что без критического анализа продолжают использовать простейшие, не относящиеся непосредственно к почвам, гидротермические коэффициенты, многим из которых более 100 лет (Чичулин, 2019). И дело, разумеется не в их возрасте, а в не разработанности методологических и теоретических вопросов оперирования с переменными, относящимся к разным иерархическим уровням описания почвы. В некоторых работах, ссылающихся на эти коэффициенты, только *декларируется*, что используется системный подход. На практике решения задач во многих случаях ищут и получают только на уровне либо констатации эмпирических фактов, либо установления формальных корреляций, поэтому упоминание "системного подхода" не оказывает ни положительного, ни отрицательного влияния на результат, а является скорее данью "системной" моде.

Например, при анализе интересующих нас работ в направлении, называемом сейчас энергетикой почвообразования, значительный вклад в развитие которого внес В. Р. Волобуев, бросается в глаза, что рисунки с изображением почвенно-климатических ареалов и расчеты по энергетике почвообразования переходят из работы в работу без изменений в течение многих десятков лет (Волобуев, 1953, 1956, 1963, 1974; Глазовская, 1981; Добровольский, Урусевич, 2004). С одной стороны, это подтверждает фундаментальность полученных В. Р. Волобуевым результатов и перспективность поставленной им еще в 1945 г. задачи (Волобуев, 1945). Но, с другой стороны, на уровне теоретического понимания физической природы изучаемой взаимосвязи и выражения этого понимания в адекватных математических понятиях, демонстрируется явное отсутствие прогресса. В результате много десятилетий остается нерешенной интересная задача, которая потенциально могла быть решена еще в 50-60 гг. XX века.

В философско-методологических работах неоднократно рассматривался вопрос о том, что концептуальная революция в естествознании оказывается плодотворной только в том случае, если она дополняется конкретным математическим аппаратом, с помощью которого можно сформулировать основные, наиболее глубокие закономерности новой области действительности. Верно и обратное: математические методы могут оказать значительное воздействие на

естествознание, только если им будет придан операционный смысл, если их признают описывающими реальные свойства природы, а не только формальные связи между ними (Акчурина, 1974, Овчинников, 1988). Иными словами, при изучении сложных иерархических систем, таких как почва, одновременная физико-теоретическая постановка задачи необходима не в меньшей степени, чем экспериментальное исследование. Перечислим некоторые характерные ошибки в работах, пренебрегающих анализом возможности построения адекватной математической модели, рассматриваемой задачи.

Почвоведение в значительной степени продолжает оставаться эмпирической наукой с соответствующими традициями простого перечисления использованных переменных, без включения их сразу в определенную теоретическую модель, соответствующую общей схеме решаемой задачи. Но за любым действием – измерением, определением понятия и др. – пусть и неявно, но *всегда* стоят какие-то допущения, определенные условия. Не учет этого обстоятельства, в конце концов может привести не только к понижению теоретического статуса полученного результата, но и кажущейся видимости решения поставленной задачи. Выбор *произвольного* числа переменных может означать, в частности, принятие методологии и картины мира классической физики, т.е. признание того допущения, что различные переменные не оказывают влияния на измерения величины других переменных. Сразу можно сказать, что для почв это является грубым приближением. Для них более адекватной является релятивистская или даже квантовая картина мира, учитывающие взаимовлияние между всеми почвенными свойствами, которыми принципиально нельзя пренебречь (Дышлевы, 1976). Последнее не означает необходимость применения математического аппарата теории относительности или квантовой механики в почвоведении. Речь идет о конкретной реализации принципа "генетической вековечной и всегда закономерной связи", категорически провозглашенного В.В. Докучаевым.

Ограничивая исследование установлением формальных корреляций между произвольными переменными, мы сразу отсекаем учет наиболее интересных нелинейных эффектов тонких взаимодействий между изучаемыми процессами, которые, как сейчас установлено, могут управлять глобальным поведением сложных систем, кардинально и резко меняя динамику и направление своего развития (Заславский, Сагдеев, 1988; Гапонов-Грехов, Рабинович, 1984; Ахромеева и др. 1992; Николис, Пригожин, 1990; Неймарк, Ланда, 1987). Формальное применение некоторых других статистических методов (главных компонент, факторный анализ и др.) зачастую также не позволяет изучать нелинейные эффекты, поскольку теоретическую основу этих методов составляют линейные модели.

При построении теоретической модели всегда следует думать о физической полноте набора независимых параметров и переменных, описывающих природное явление. Хотя основным в этом случае является глубокое качественное понимание изучаемого явления, существуют и формальные методы контроля. С этой целью используется анализ размерности, который, однако, тоже не полностью гарантирует от неправильной постановки задачи. В истории известны случаи, когда даже известные ученые получали формально верный, но физически ошибочный результат (Бриджмен, 2001). Отсутствие математической модели (схемы), как и нечеткое понимание задачи ведет к тому, что часто рассматриваются как системные любые работы лишь постольку, поскольку в них изучается некоторый *произвольный набор переменных*. Выбор уровня исследования зависит от поставленной цели, но раз он сделан, то предметная область должна быть определена таким образом, чтобы она представляла собой объективную целостность. Здесь выбор переменных ограничен.

Своеобразие системного подхода состоит в *целостном* видении объекта исследования. Изучение не полностью контролируемого объекта исследования, т. е. в котором признак целостности отсутствует, сразу же порождает теоретические и практические трудности. Например, встречаются режимные работы по изучению эрозии почв при снеготаянии (Танасиенко и др., 2013), продолжающиеся десятилетиями, методический смысл которых должен состоять в точных балансовых расчетах, но которые, даже без приблизительной оценки возникающей погрешности, пренебрегают очевидными приходно-расходными статьями. Понятно, что такие исследования оказываются малоэффективными. Оправданием низкой величины коэффициента корреляции $\sim 0,5$ в результирующем уравнении, связывающем осадки и сток, служит "универсальное объяснение" сложности учета всех обстоятельств.

Отмечается также несоблюдение норм системной методологии и в экологии почв, а именно с анализ климатических закономерностей без соблюдения требований обязательной выравненности всех остальных факторов (Соколов, 2004).

Построение и использование теоретической модели на любом этапе исследования автоматически повышает стандарты получения знания, обеспечивая таким работам по сравнению с эмпирическими большую правдоподобность и надежность. Это происходит хотя бы потому, что заставляет критически оценивать применяемые теоретические и экспериментальные методы.

В качестве последнего замечания, связанного с критическим анализом применения системного "экофизиологического", а по нашей терминологии, микроскопического подхода в почвоведении, сошлемся на статью заведующего лабораторией математического моделирования агроэкосистем Агрофизического Института д.т.н. А. Г. Топаж с примечательным названием "Динамические модели продуктивности: тупик или распутье?". В ней приводится ссылка на мнение одного из создателей направления динамического моделирования в бывшем СССР О. Д. Сиротенко, высказанное в частном разговоре, что "время показало ограниченность и, в определенной мере тупиковость подхода, связанного с разработкой подобных моделей. ... Реальные практически задачи прекрасно решаются с привлечением простых методик регрессивного характера". Характеристики типа "овчинка оказалась совершенно не стоящей выделки", "шарлатанство", "кризис" и "возвращение к "примитивным" статистическим регрессионным моделям" и другие подобные выражения не раз встречаются в этой статье. В ней очень ярко и, с нашей точки зрения, совершенно точно отражена общая тенденция разочарования или, точнее, несоответствия полученных результатов завышенным ожиданиям не только по отношению к моделированию в сельском хозяйстве, но и к имитационному моделированию вообще.

Мы считаем, что "тупиковость" микроскопического подхода в имитационном моделировании продуктивности, так ярко охарактеризованная О.Д. Сиротенко, помимо объективной сложности объекта исследования, может быть связана с тем, что на пути от микроскопической постановки задачи (факторы и внутрипочвенные процессы) к получению макроскопического результата (продуктивность) был пропущен еще один важный иерархический уровень, на котором действуют свои закономерности, не сводящиеся к микроскопическим. Никакая вычислительная мощь компьютеров здесь не поможет. Необходимо найти качественно новые переменные, которые помогут сформулировать качественно новые закономерности. В нашем предположении мы опираемся на аналогию с развитием различных физических направлений. Дело выглядит так, как было в свое время с формулировкой законов статистической механики: движение каждой микрочастицы описывается законами Ньютона, но описать движение огромного числа частиц на их основе принципиально не представляется возможным. Решение нашел Дж.К. Максвелл, который понял, что прямолинейного микроскопического пути решения этой задачи не существует, нужна другая постановка вопроса: нужно ввести в физическую теорию представление о закономерностях особого типа, в которых связи между величинами, входящими в теорию, носят вероятностный характер. Так может оказаться и в случае с имитационным моделированием продукционного процесса – необходимо сначала догадаться о каких-то новых, промежуточных закономерностях внутрипочвенных явлений, сформулировать их и только потом выйти на задачу поиска связи этих закономерностей с продуктивностью агроценозов.

Сошлемся на подходящее к описываемой ситуации мнение одного из величайших физиков-теоретиков XX века Р. Фейнмана (1987): "Каждый раз, когда образуется длительный затор, когда накапливается слишком много нерешенных задач, это происходит потому, что мы пользуемся теми же методами, которыми пользовались раньше. Новую же схему, новое открытие нужно искать совсем на другом пути".

Таким образом, проведенный краткий критический анализ в отношении существующих подходов в почвоведении подтверждает нашу точку зрения о том, что в настоящее время актуальным является разработка именно мезоскопических моделей, избегающих крайностей как микроскопических моделей, стремящихся описать все и сразу, так и "простых и быстрых" макроскопических моделей, опирающихся на чрезмерно идеализированные представления о почвах. Проводя дальнейшую аналогию с физикой, можно сказать, что физика элементарных частиц и космология безусловно фундаментальные науки, но в нашем мире не все закономерности подчиняются их законам или сводятся к ним. Даже в рамках квантовой механики разрабатываются не только чисто квантовые методы. Свое право на существование и принципиальные преимущества доказали мезоскопические теоретические подходы, носящие названия полуклассических или квазиклассических приближений (Ландау, Лифшиц, 1989).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей работе на примере изучения взаимосвязей почв и атмосферного климата как фактора почвообразования представлены физико-теоретические основы нового мезоскопического подхода, который в определенном смысле рассматривает свойства и закономерности почв на масштабах, промежуточных между макроскопическим и микроскопическим. Его основу составляет традиционное представление о том, что структура почвенно-биоклиматических ареалов определяется одновременно как внешними факторами, так и внутрисочвенными процессами. Новизна заключается в методе расчета параметров совместного внутрисочвенного тепло-влагообмена (точнее – среднегодового тепло-влажностного состояния почвенно-биоклиматических ареалов).

До описания математического содержания метода целесообразно кратко напомнить особенности макро-, микроскопического подходов и затем на качественном уровне детально описать физический смысл всех математических операций, совершаемых при разработке мезоскопического подхода.

Макроскопический уровень для нашей задачи задается внешними климатическими условиями: радиационным балансом R , осадками P , а также границами почвенно- биоклиматических ареалов как целостных единиц. Детализация внутренней структуры почвы, такая как профильное распределение гидро- и теплофизических коэффициентов, отсутствует. Почва представляется максимально идеализированным объектом – бесконечно тонкой пленкой. Из параметров R и P составляются комбинации (1) и (2), называемые гидротермическими коэффициентами, с которыми, по версиям М.И. Будыко (1956) и В.Р. Волобуева (1974), должны коррелировать границы почвенно-климатических ареалов (рис.1). Например, коэффициент увлажнения (1) соответствует определенным В.Р. Волобуевым гидрорядам. На рис.1 представлена структура почвенно-климатических ареалов, составленная на основе данных В.Р. Волобуева (1974). Этот рисунок мы приводили ранее (Чичулин, 2019), и здесь воспроизводим его без изменения, как представляющий из себя важную часть базы эмпирических данных, используемой в дальнейших расчетах.

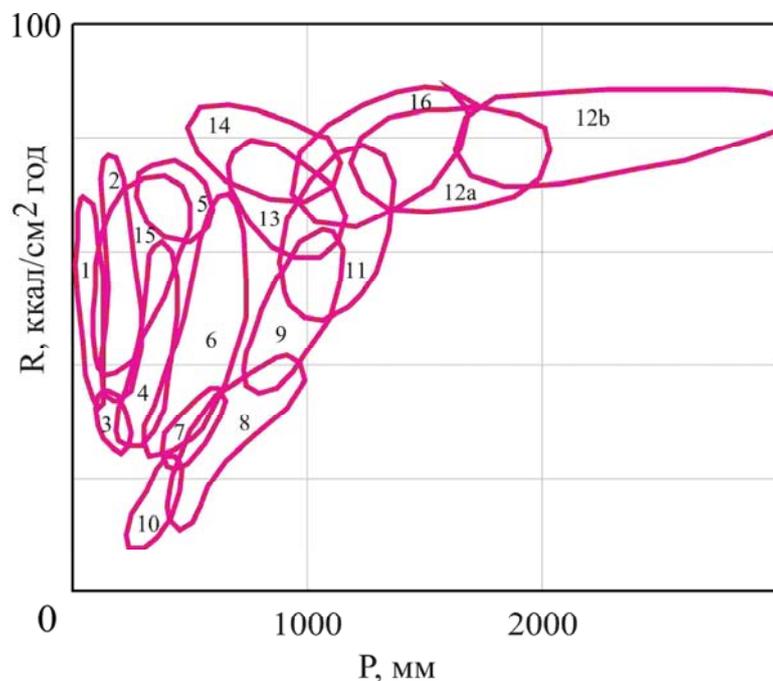


Рисунок 1. Расположение почвенно-климатических общностей по В.Р.Волобуеву (1974): 1 – пески пустынь, 2 – сероземы, 3 – бурые почвы полупустынь, 4 – каштановые почвы, 5 – каштановые почвы Африки, 6 – черноземы, 7 – серые лесные почвы, 8 – подзолы и подзолистые почвы, 9 – бурые лесные почвы, 10 – почвы тундр, 11 – желтоземы, 12 – красноземы и латериты (12a – основной ареал, 12b – более редкое распространение), 13 – коричневые почвы сухих лесов и кустарников (Африка), 14 – черные почвы саванн и тропических прерий, 15 – светло-бурые почвы тропических полупустынь, 16 – красно-бурые почвы саванн.

Микроскопический подход задается параметрами, характеризующими свойства почвенных горизонтов, отвечающих за внутрисочвенный тепло-влагообмен: гидро- и теплофизическими, а также перекрестными коэффициентами, динамикой внешнего климата $R(t)$ и $P(t)$ как граничными условиями, необходимыми для расчета динамики почвенного климата, а также границами почвенно-биоклиматических ареалов, как целостных единиц. Кроме границ почвенно-биоклиматических ареалов, остальные перечисленные коэффициенты в настоящей работе не использованы. По предположению, некоторые расчетные интегральные параметры почвенного климата (такие, как сумма температур выше 10°C) должны коррелировать с определенными почвенно-климатическими ареалами.

Мезоскопический подход задается внешними климатическими характеристиками R и P , эмпирической функцией суммарного испарения почвенной влаги (испарение с поверхности почвы плюс транспирация) $E(R, P)$ (3) и, как и в предыдущих двух случаях, границами почвенно-биоклиматических ареалов (рис.1). Деление почвы на горизонты отсутствует, и внутрисочвенный тепло-влагообмен рассматривается как целостный самоорганизованный процесс, согласованный с потоками обмена с внешней средой. Цель – найти интегральные характеристики этого самоорганизованного процесса для каждого почвенного ареала, которые и будут выражать искомую связь почв с климатическими условиями.

Поскольку целью настоящей работы является разработка именно мезоскопического подхода, опишем его по возможности подробнее. Его формальную основу составляют два взаимосвязанных постулата (принципа), которые можно назвать принципами инвариантности и оптимальности.

ПРИНЦИП ИНВАРИАНТНОСТИ

Постулат 1. Вся информация о структуре почвенно-биоклиматических ареалов в интегральной форме содержится в функции, определяющей величину суммарного испарения почвенной влаги в зависимости от средних многолетних значений радиационного баланса R и осадков P во всем диапазоне их изменения:

$$R(P, E) = \frac{E \left[2.69 \left(\frac{E}{1000} \right)^{4.91} + 0.98 \right]}{(E - P) \left[3.44 \left(\frac{E}{1000} \right)^{3.9} + 0.54 \right]} + \left(\frac{E}{50} \right)^{1.48} \quad (3)$$

График изолиний функции испарения (3) приведен на рис. 2.

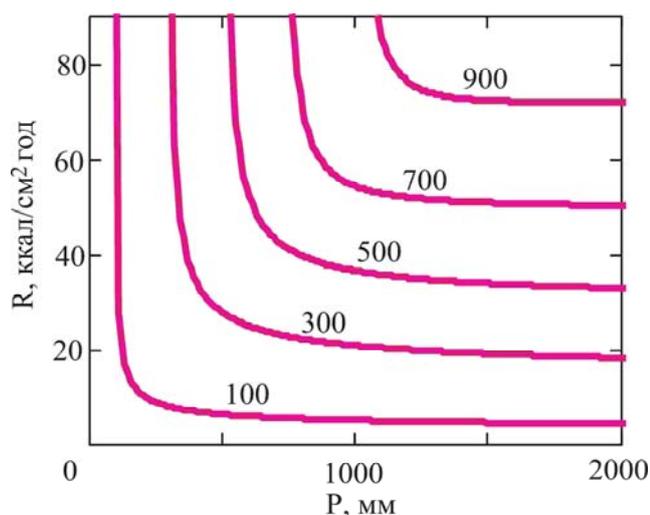


Рисунок 2. Изолинии испарения почвенной влаги, рассчитанные на основе уравнения (3), аппроксимирующего эмпирические данные, собранные В. Р. Волобуевым (1974). Цифры у изолиний обозначают величину функции суммарного испарения $E(R, P)$ в мм. Размерности величин такие же как на (рис.1).

Математически задача заключается в том, чтобы извлечь из функции испарения (3) информацию о структуре почвенно-биоклиматических ареалов (рис.1). С этой целью прежде всего необходимо записать функцию (3) в **инвариантной форме**. Способ, позволяющий это сделать, и составляет содержание принципа инвариантности. Поясним его.

Эмпирическое уравнение (3) мы вывели, используя базу данных, собранную В. Р. Волобуевым (1974). Подчеркнем, что величина суммарного испарения не измерялась, а рассчитывалась им как разница между суммарными многолетними осадками и стоком. Упоминание необходимости учета всего диапазона изменения радиационного баланса R и осадков P в этом уравнении является важным и сделано специально, чтобы подчеркнуть суть отличия мезоскопического подхода, в котором для расчетов используется **вся функция испарения**, от подходов М. И. Будыко (1956) и В. Р. Волобуева (1974), в гидротермических коэффициентах (1) и (2) которых используются только **предельные значения** этой функции, а именно испарение с поверхности предельно увлажненной почвы (по сути дела с поверхности свободной влаги) или полное испарение осадков (предельно сухое состояние почвы) (Чичулин, 2019).

Таким образом, в подходах М. И. Будыко (1956) и В.Р. Волобуева (1974) постулирована корреляция границ почвенно-климатических ареалов с независимыми макроскопическими коэффициентами (1) и (2). Отличие границ одних ареалов от других маркируется простыми множителями в этих коэффициентах – т. е. сводится к простому подобию.

В мезоскопическом же подходе утверждается, что диапазоны радиационного баланса и осадков, соответствующие различным почвенно-биоклиматическим ареалам, нельзя связать друг с другом простым умножением на некое число – коэффициент подобия. Связь между ними является более сложной. Кратко и с определенной долей условности можно сказать, что эта связь определяется одновременно **двумя переменными коэффициентами подобия**, которые вместе представляют собой одну функцию, имеющую два асимптотических предела.

С целью записи (3) в инвариантной форме из его составных частей конструируют новые переменные X и Y (4), такие, чтобы все изолинии суммарного испарения, изображенные на рисунке 1, сливались в одну универсальную зависимость. Способ конструирования новых переменных должен быть понятен из сравнения (3) и (4). По существу, он сводится к тождественной перестановке сомножителей в (3). Но, выраженная в новых переменных, функция испарения (3) приобретает новое качество: она представляет из себя гиперболическую зависимость, которая в двойных логарифмических координатах является прямой линией (5) (рис.3; А):

$$Y \equiv \frac{R(P, E) - \left(\frac{E}{50}\right)^{1.48}}{E \left[\nu \left(\frac{E}{1000}\right)^{4.91} + \mu \right]} ; \quad X \equiv \frac{(P - E) \left[3.44 \left(\frac{E}{1000}\right)^{3.9} + 0.54 \right]}{E^{(2.69 - \nu) \left(\frac{E}{1000}\right)^{4.91} + (0.98 - \mu)}} \quad (4)$$

$$\ln[Y(X)] = -\ln(X) \quad (5)$$

Смысл описанной операции заключается в том, что слияние в одну линию всех изолиний испарения означает, что будучи выраженными в новых переменных (4), *все точки любых объектов, изображенных на экологическом поле (R, P), включая границы почвенно-климатических ареалов* (рис.1) спроецируются на эту же линию (рис. 3; В). Таким образом, поиск аналитической зависимости структуры ареалов от климатических факторов, сведется к анализу их расположения на прямолинейной зависимости (рис.3; В, С).

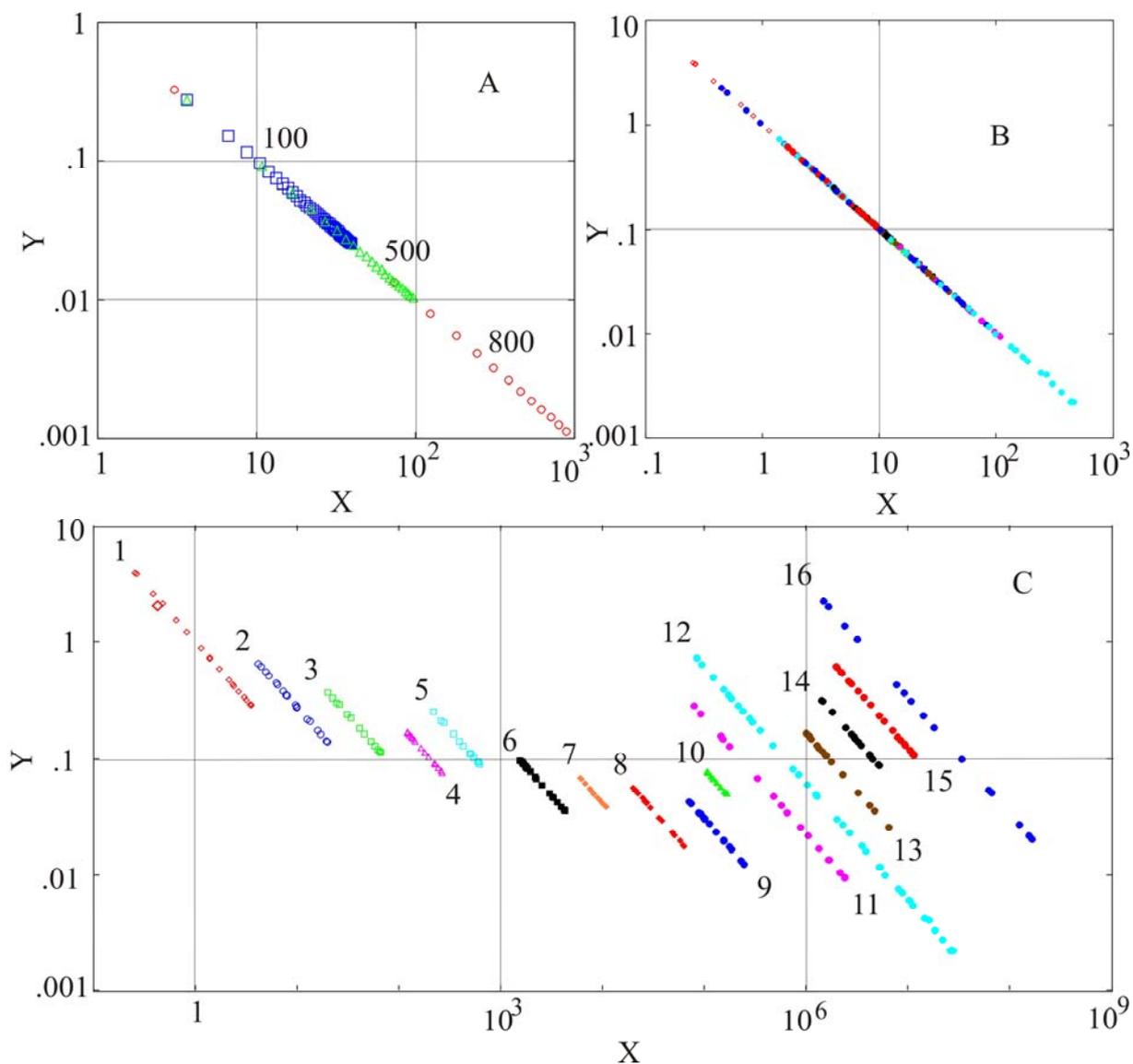


Рисунок 3. Почвенно-биоклиматические ареалы в обобщенных координатах. А – три изолинии суммарного испарения почвенной влаги в новых обобщенных координатах Y , X при $E_1=100$ мм/год (синие крупные квадраты), $E_2=500$ мм/год (зеленые средние треугольники), $E=800$ мм/год (красные маленькие кружочки). Обобщенные координаты Y , X определены в тексте. В – границы всех почвенно-биоклиматических ареалов в новых координатах – спроецированы на одну линию. С – те же ареалы, с целью оценить относительные размеры каждого, сдвинуты друг относительно друга на постоянный шаг по оси X . Цифры обозначают номера ареалов, соответствующие номерам на рисунке 1. Ареалы представляют из себя прямолинейные отрезки, отличающие друг от друга средней метрикой (масштабом).

Дадим теперь формальное определение: **принцип инвариантности** заключается в нахождении преобразований, оставляющих уравнение (3) в инвариантной форме.

Методологический смысл поиска инвариантной формы уравнений более глубокий, чем просто формальный прием. Инвариантность является фундаментальным принципом современной теоретической физики. Его эвристическое значение заключается в том, что он позволяет находить новые законы природы. Поскольку это очень важный вопрос, сделаем отступление и рассмотрим его подробнее.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ИНВАРИАНТНОСТИ

Научные направления, обладающие относительно слабо развитым арсеналом собственных теоретико-познавательных средств, с целью повышения уровня теоретических исследований часто привлекают конкретные методы, разработанные на основе фундаментальных методологических

принципов. При решении специальных задач эти методы могут модифицироваться, а используемые в них понятия приобретать новый смысл и значения.

Среди методологических принципов, использованных при разработке теоретических основ мезоскопического подхода – математизации, инвариантности, целостности, иерархичности, относительности, локальности, соответствия и дополненности – не все играют одинаковую роль. Большинство из них даже не упоминается. Но принцип симметрии мы выделяем как центральный (Овчинников, 1988; 1996; 2009). Отчасти в этом сказываются собственные интересы автора, однако основная причина заключается в том, что различные виды симметрии и связанные с ними законы сохранения объективно отражают наиболее фундаментальные структурные свойства действительности (Любарский, 1986; Урманцев, 1974). Подтверждением служит то, что в настоящее время в самых различных научных направлениях, и, безусловно, прежде всего в физике, принципы симметрии, в форме конкретных законов сохранения, закона инерции Галилея в механике, уравнений Максвелла в электродинамике, первого начала термодинамики и др., составляют аксиоматическую основу соответствующих теорий. К тому же принципы симметрии, в отличие от других, обладают собственным математическим аппаратом – теорией групп, предназначенной для извлечения следствий из свойств симметрии изучаемых объектов. Многие полагают, что в математическом аппарате современной физики теоретико-групповые структуры заняли сегодня ведущее место, оттеснив на второй план дифференциально-аналитические структуры, присущие классической физике (Разумовский, 1986).

Эвристические функции принципов симметрии состоят в том, что они дают возможность получать количественную информацию о сложных природных системах даже в тех случаях, когда уравнения, описывающие эти системы, неизвестны (Любарский, 1986; Преображенский, 1986.). Эти свойства принципов симметрии утвердили их в роли мощного методологического и теоретического средства при решении многих, а не только физических проблем.

Существуют различные виды симметрии – зеркальная, трансляционная, вращательная и др. Их общий смысл понятен из названия. **Калибровочная симметрия**, которая применяется в настоящей статье – одна из разновидностей симметрии, связанная с инвариантностью уравнений, относительно масштабных преобразований фигурирующих в них переменных.

В определенном смысле математическая теория групп, среди прочих методов, занимает место на границе между качественными и количественными подходами. Преимущество такого положения в том, что нет необходимости разрабатывать сложный математический аппарат, его можно "угадать". Однако "угадать" – не значит "легко". Сделать это можно только на основе глубокого понимания сути изучаемого явления на качественном уровне. Необходимым условием при этом оказывается рассмотрение многочисленных и взаимосвязанных проблем эмпирического, предметно-теоретического и системно-методологического уровней описания.

Мотивацией проявления интереса к применению симметрии в нашей работе явилось то, что, **во-первых**, в настоящее время принципы симметрии доказали свою высочайшую эффективность в теоретической физике. Теория групп занимает сегодня одно из ведущих мест в ее математическом аппарате. Даже эмоциональная характеристика первоначального взрывного интереса к применению симметричного анализа в физике XX века как "теоретико-групповой чумы", в известной степени свидетельствовала об эффективности и эвристических возможностях применения теории групп к различным задачам. Вряд ли такое название было бы дано при полном отсутствии результативности. Можно сказать, что в настоящее время утвердилась особая роль принципов симметрии при построении физической теории. Теоретико-инвариантный подход проник в физику и определил целесообразность формулирования физических теорий именно на основе принципов симметрии. **Во-вторых**, некоторые задачи, стоящие перед генетическим почвоведением, напрямую перекликаются с задачами, в решении которых теоретико-групповые методы достигли наиболее заметных результатов. Мы имеем в виду группировки различных структурных единиц природы. Перечислим их.

1. Классическим примером является классификация всех возможных дискретных кристаллических форм, проведенная в 1890 г. в работах Е. С. Федорова и А. Шенфлиса (Разумовский О. С. 1979; Бир, Пикус, 1972). Это был первый в истории случай применения теории групп в естествознании, приведший к появлению теоретической кристаллографии.

2. Впечатляющим оказалось применение теории групп в физике элементарных частиц, которых на сегодняшний день насчитывается более 700 (вместе с античастицами). Теория групп

позволила построить эвристически эффективную схему их классификации, лежащую в основе Стандартной модели, объединяющей сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия.

3. Большой интерес представляют попытки применения теории групп для классификации химических элементов. Известно, что таблица Менделеева построена на обобщении феноменологических свойств элементов. Однако, было показано (Румер, Фет, 1971; Конопельченко, Румер, 1979) что возможен и другой путь классификации - постулировать группу симметрии и, исходя из нее, сгруппировать элементы. При этом выяснились интересные подробности, связанные, в частности, с обнаружением большого количества пустых клеток, которые пытаются идентифицировать, хотя и с большой осторожностью (Кулаков, 1991; Кулаков, 2004).

4. В настоящее время на основе принципа калибровочной симметрии строится единая теория всех четырех фундаментальных взаимодействий в физике. Физики считают, что дискредитированный в свое время термин "единая теория поля" приобретает в теории калибровочных полей новое, вполне реальное звучание. (Преображенский, 1979; Девис, 1989).

Это лишь малая часть наиболее заметных достижений, связанных с применением теории групп. Перечислить все просто невозможно. Но ясно, что принцип симметрии, уже сегодня прочно вошел в арсенал теоретической физики.

Таким образом, применив принцип инвариантности, мы получили в качестве промежуточного результата прямолинейные зависимости, изображенные на (рис.3; В, С). Напомним, что эти прямые являются изображениями границ почвенно-биоклиматических ареалов. Далее необходимо для каждого ареала рассчитать интегральные параметры внутрпочвенного климата. Трудность заключается в том, что напрямую рассчитать их из промежуточных результатов (рис.3; В, С) нельзя. Дело в том, что, хотя отрезки, характеризующие почвенно-биоклиматические ареалы, лежат на одной прямой, их внутренние *масштабы* различны. Строго говоря, каждая точка экологического поля (R, P), пересчитанная в новых координатах, обладает своим масштабом, определяемым функцией испарения, поэтому уравнение (5) *неоднородно*. В каждой его точке свой масштаб, который зависит от величины испарения по правилам, определяемым новыми переменными (4). Эта особенность уравнения (5) делает неприменимыми к нему стандартные математические методы анализа однородных прямых. Новый же метод расчета еще необходимо поискать. Содержание этого метода и определяется вторым постулатом мезоскопического подхода – **принципом оптимальности**.

ПРИНЦИП ОПТИМАЛЬНОСТИ

Для этого вернемся несколько назад и обратим внимание на то, что в определениях новых переменных (4) есть параметры μ и ν , варьирование которых симметричным образом не изменяет уравнение (5). Выражение "симметричным образом" означает, что когда эти параметры в одной переменной X уменьшаются на определенную величину, то на такую же величину во второй переменной Y они увеличиваются и наоборот. При варьировании происходит смещение точек, изображающих почвенно-биоклиматические ареалы, вдоль прямой (5), изменяются расстояния между ними, но само уравнение (5) графически остается неизменным. Чтобы отчасти пояснить ситуацию, на (рис.4 А), в качестве типичного примера, изображены смещения максимальной и минимальной границы черноземного ареала (№ 6) при варьировании параметра ν . Варьирование параметра μ вносит малый вклад и поэтому вместо него принято постоянное среднее значение $\mu = 0.98$. Для определенности, параметр ν далее будем называть масштабным фактором.

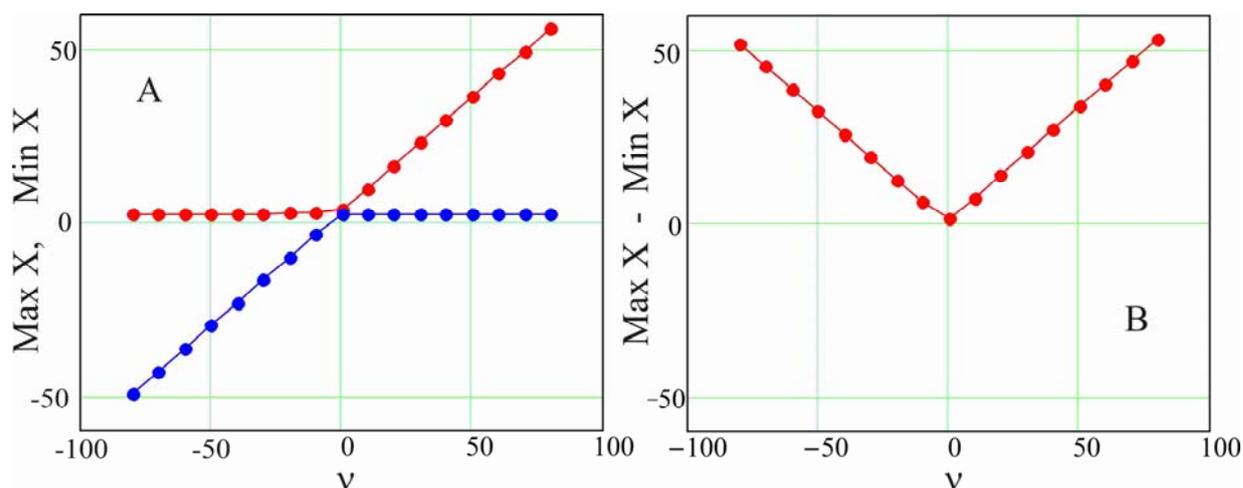


Рисунок 4. Смещение максимальных (красные точки) и минимальных значений (синие точки) обобщенной переменной X для границ черноземного ареала при изменении параметра v . Смещение переменной Y происходит таким же образом, но с противоположным знаком. (А) – смещение значений по отдельности. (В) – смещение разности максимального и минимального значения. Рисунок изображает поведение смещений в мелком масштабе для того, чтобы был ясен общий ход зависимости. Точные значения параметра (масштабного фактора) v , при котором функция достигает минимума для черноземного ареала $v = -0.89$. Характерные точки перегиба отделяют преобладающий сдвиг всех точек ареалов по разным ветвям переменных X или Y . Вблизи точки минимума (рис.4В) точки ареала максимально сближаются друг с другом, размеры ареала становятся минимальными, так, что длина каждой линии, обозначающей соответствующий ареал на (рис.3 С) тоже становится минимальной. Каждый ареал характеризуется своим значением v , при котором достигается минимум.

Опишем результаты математических расчетов изменения структуры ареалов при изменении масштабного фактора v . Все точки, изображенные на рис.4, удовлетворяют уравнению (5). На этом этапе задача заключается в том, чтобы избавиться от этой неоднозначности и найти какие-то *уникальные* значения новых переменных, для того, чтобы уравнение (3) обладало не только формальной инвариантностью, но и физическим смыслом. На рис. 4 видно, что на кривых существуют характерные точки перегиба. Такие перегибы существуют для *каждой точки нового* экологического поля (X, Y). (Новым мы назвали его для того, чтобы отличать от *старого* экологического поля (R, P)). Точки перегиба отделяют смещения точек ареалов по разным ветвям новых переменных. При изменении масштабного фактора v все точки, расположенные на новом экологическом поле (X, Y), изменяют свое месторасположение. Но все они при изменении масштабного фактора v движутся *с разной скоростью* либо в направлении, определяемом переменной X (вдоль ветви X), либо в направлении, определяемом переменной Y (вдоль ветви Y). И только при определенном значении параметра v , точки ареалов группируются максимально плотно, когда переходят с одной ветви на другую.

Далее, движение точек ареалов происходит таким образом, что когда одна точка ареала (*max*) движется по одной ветви, вторая точка ареала (*min*) практически стоит на месте. При достижении параметром v точки перегиба движение точек ареалов изменяются: первая точка замедляет движение и практически останавливается, а вторая начинает двигаться по другой ветви. Таким образом, физический смысл параметра v заключается в том, что он характеризует перераспределение масштабов между новыми переменными X и Y (4). Напомним, что переменная Y связана с радиационным балансом и испарением, а переменная X – с осадками и испарением. Поэтому Y можно рассматривать как нормированный радиационный баланс, а X – как нормированные осадки. При перераспределении масштабов (нормировок) есть выделенная ситуация, когда размеры ареала принимают единственное минимальное значение (рис.4 В). Интерпретировать эту ситуацию можно как достижение оптимального соотношения между теплом и влагой в почве, соответствующее заданным внешним факторам R и P . Величины масштабных факторов v , рассчитанные для каждого почвенно-биоклиматического ареала приведены на рис. 5. Интересно отметить, что почвы, сформированные в предельно сухих и предельно холодных

климатических условиях, характеризуются низкими значениями масштабного фактора, тогда как остальные – значениями ν , близкими друг к другу и к нулю.

Полученный результат можно сформулировать в виде второго основного постулата (принципа оптимальности) мезоскопического подхода:

Постулат 2. Из всех возможных вариантов перераспределения тепла и влаги внутри почвы при заданных внешних факторах R и P , реализуется тот, при котором размеры заданного почвенно-биоклиматического ареала, выраженные в обобщенных переменных (X, Y) , являются минимальными.

Таким образом, применив последовательно принципы инвариантности и оптимальности, мы решили задачу, а именно нашли преобразования, оставляющие функцию испарения (3) инвариантной при изменении внешних факторов R и P . Для этого к гидротермическим параметрам каждого ареала пришлось применить **локальные калибровочные преобразования**, связывающие старые переменные R и P с новыми переменными X и Y (4). Отметим, что в физике прямым аналогом для этих преобразований являются преобразования Лоренца в специальной теории относительности, связывающие между собой пространственные и временные координаты в различных инерциальных системах отсчета, движущихся с некоторой скоростью друг относительно друга. В мезоскопическом подходе аналогом этой скорости являются изолинии испарения. Вывод, который вытекает из полученных результатов, по своей сути согласуется с выводом специальной теории относительности: нельзя напрямую сравнивать почвы, сформированные при различных климатических условиях, они несопоставимы. Для корректного сравнения этих условий, их необходимо сначала подвергнуть преобразованиям (4).

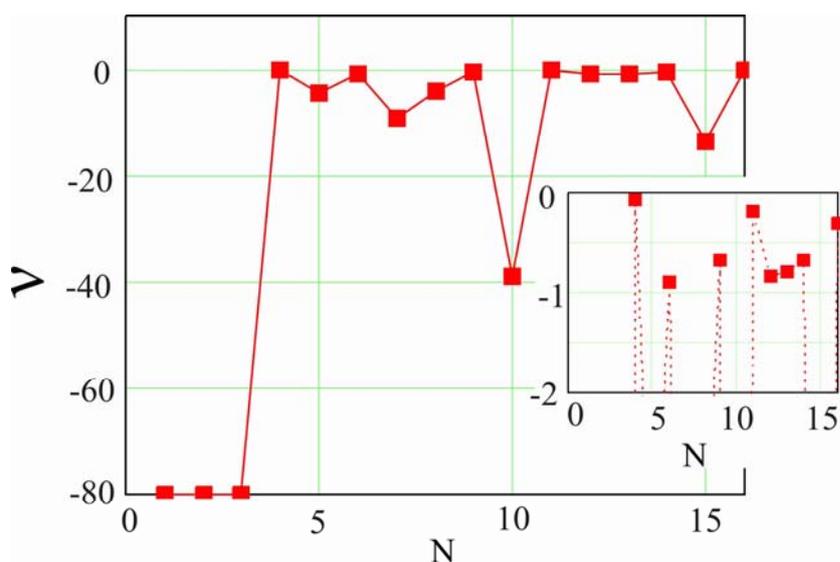


Рисунок 5. Величины масштабных факторов ν для всех почвенно-биоклиматических ареалов. N – номера ареалов, соответствующие (рис.1). На врезке справа изображена верхняя часть основного графика в увеличенном масштабе.

В процессе построения мезоскопического подхода *исключительно теоретическим путем* найдена *новая*, специфическая для каждого почвенного ареала, величина – масштабный фактор ν . Физический смысл этого фактора – служить количественной характеристикой оптимального соотношения между внутрипочвенными величинами тепла и влаги. С его помощью рассчитываются интегральные *внутрипочвенные* гидротермические характеристики (4) через *внешние* факторы R и P и функцию испарения $E(R, P)$ (3). Но физический смысл этого фактора шире, и выходит за пределы параметров, определенных по условию задачи: $R, P, E(R, P)$. По существу, масштабный фактор говорит о том, что этих параметров *недостаточно* для полной характеристики почвы. Механизмы, с помощью которых почва может влиять на установление оптимального соотношения тепла и влаги – это перестройка структуры, состава и свойств существующих и появление новых почвенных горизонтов, изменение количества и качества растительности и т. п. Масштабный фактор интегральным образом связан именно с этими механизмами. Дальнейшее развитие теории мезоскопического подхода и установление его связей с экспериментальными исследованиями может идти и в этом направлении.

В качестве конкретного примера применения масштабного фактора совместно с другими параметрами на рис. 6 приведена группировка почвенно-климатических ареалов, полученная в рамках мезоскопического подхода. Подчеркнем, эта группировка получена исключительно расчетным методом, без привлечения качественных соображений о том, где какой ареал должен располагаться. В этом состоит одно из отличий результатов работы В. Р. Волобуева и нашей.

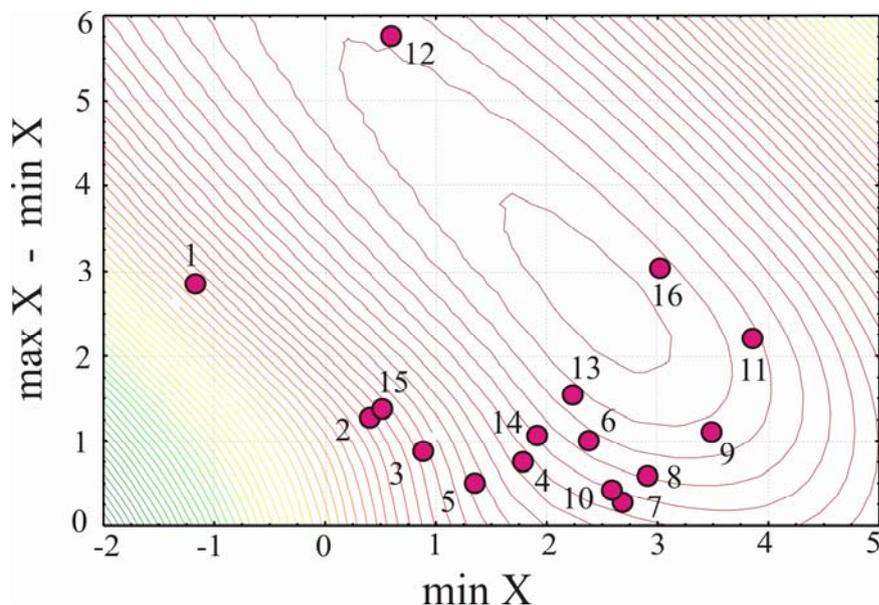


Рисунок 6. Расположение параметров почвенно-биоклиматических ареалов на изолиниях масштабного фактора v .

Рисунок 6 следует сравнивать с рис.1 настоящей работы или с рис. 33 работы В.Р. Волобуева (1974). Работа в этом направлении еще не окончена, поэтому окончательных выводов мы пока не делаем, но хотим обратить внимание на закономерную и ступенчатую организацию в расположении ареалов. Кроме того, наблюдается тесная (полная и не могла быть) корреляция в расположении гидро- и терморядов В. Р. Волобуева и изолиний масштабного фактора v .

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ОПТИМАЛЬНОСТИ

Возвращаясь к принципу оптимальности следует отметить, что, судя по всему, его можно интерпретировать как конкретную реализацию **всеобщего принципа оптимального устройства** природных объектов – многократно подтвержденной общей природной закономерности (Розен, 1969; Ассеев, 1977). В физике такие принципы носят название экстремальных или вариационных.

По поводу экстремальных принципов целесообразно сделать несколько замечаний. Представление о том, что природа во всех своих проявлениях стремится к экономии, является одним из старейших принципов теоретической науки. Физика дает ряд превосходных примеров задач такого рода. Один из первых примеров – основной принцип геометрической оптики – принцип наименьшего времени Ферма. Аналогом принципа Ферма в механике является известный принцип наименьшего действия Мопертюи (Ассеев, 1977.) Дальнейшее развитие экстремальных принципов привело к осознанию их огромной теоретической значимости и общности. Например, на принципе минимального действия Гамильтона построена большая часть всемирно известного курса теоретической физики Л.Д. Ландау, И.М. Лифшица. Из этого принципа выводятся законы Ньютона, Максвелла, Шредингера, Эйнштейна.

В физике возможность построить альтернативные теории для одной и той же предметной области на разных основаниях осознана давно – со времен создания механики Лагранжа и Гамильтоновой. В математике – со времен создания неевклидовых геометрий. Построение физических теорий на основе экстремальных принципов относится к таким альтернативным теориям. В мезоскопическом подходе, описанном в настоящей работе, насколько нам известно, *впервые* применен экстремальный принцип при решении задачи о зависимости почв от климатических условий. Показано, что альтернативность не означает тождественность. Мезоскопический подход обладает определенными преимуществами и перед микроскопическим и

перед макроскопическим подходами. Концентрированное сравнение этих подходов между собой изображено на рис. 7.

Важно подчеркнуть, что каждая из альтернативных формулировок обладает своими преимуществами перед другими. В мезоскопическом подходе таким преимуществом является возможность расчета оптимального соотношения тепла и влаги в почве без знания ее внутренней структуры. Дальнейшее применение мезоскопического подхода достаточно очевидно и может быть связано с возможностью прогнозировать направление эволюции почв, вслед за изменяющимися климатическими условиями или проведением более детальной группировки почв, чем описанные в настоящей работе почвенно-биоклиматические ареалы, и многое другое.

Следует сказать, что с формальной точки зрения принцип оптимальности играет роль постулата, т.е. утверждения, лежащего в основе разрабатываемого теоретического подхода. Постулат логически не выводится из более фундаментальных законов, и в этом смысле его нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть. Его правильность обосновывается эвристическими рассуждениями и здравым смыслом и проверяется в дальнейшем на достоверность сравнением с опытом вытекающих из теоретической модели следствий.

Обратим внимание на то, вместо решений дифференциальных уравнений с граничными условиями в мезоскопическом подходе используется другая информация – о зависимости суммарного испарения почвенной влаги от климатических характеристик. Эта функция в интегральной форме содержит информацию о специфике взаимодействия тепла и влаги в профиле почвы и растительности. Она является эмпирической основой для всех последующих расчетов. Поэтому, по аналогии с ОГХ – основной гидрофизической характеристикой, предложенной А. М. Глобусом (1983, 1987), для краткости ссылок и упоминаний, предлагается аббревиатура **ОГТХП – основная гидротермическая характеристика почвообразования** – поскольку из нее, при соответствующих допущениях, выводится вся остальная информация о почвах.

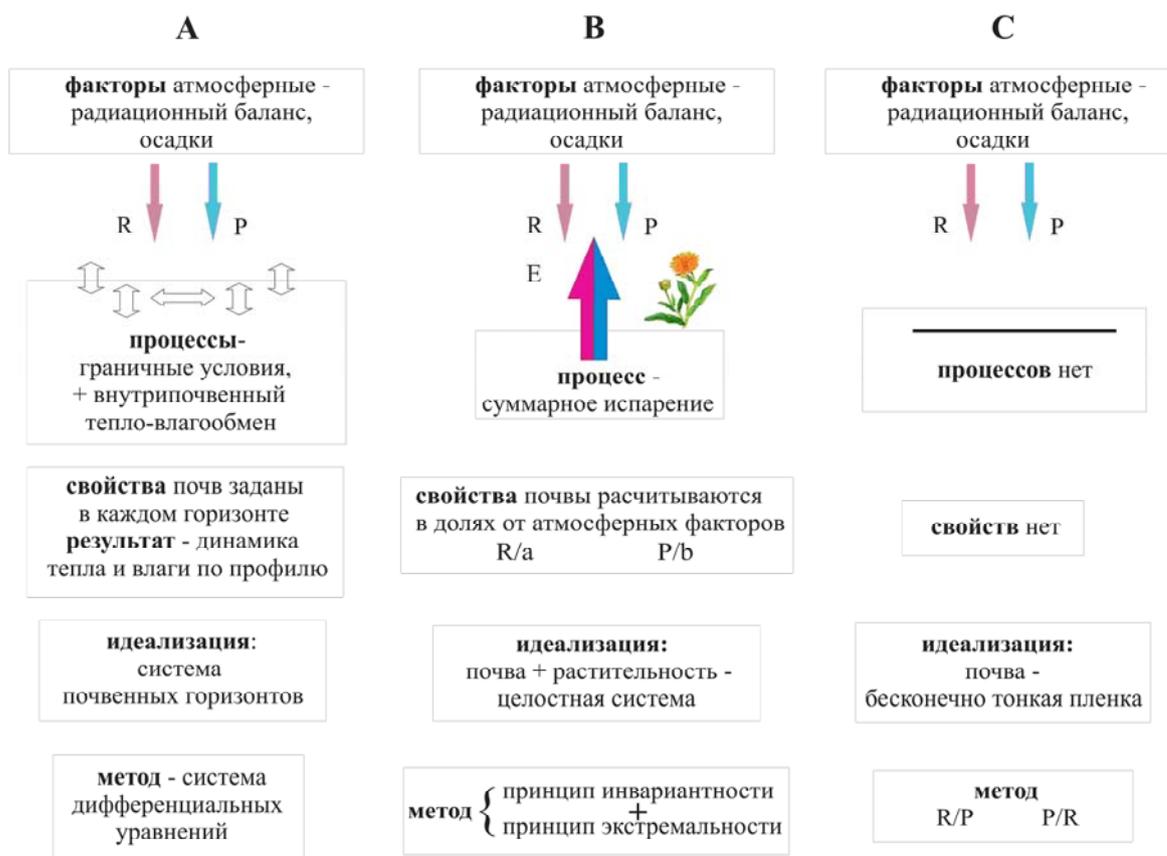


Рисунок 7. Схема, иллюстрирующая специфику микроскопического (А), мезоскопического (В) и макроскопического (С) подхода. Схема построена в соответствии с формулой: факторы → процессы → свойства, дополненной описанием принятой идеализации и основным методом расчета.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О ПРИНЦИПАХ СИММЕТРИИ

Р. Фейнман в своей замечательной книге "Характер физических законов" (1987) назвал законы сохранения великими. Но известно, что законы сохранения являются следствием принципов симметрии. Значит ли это, что принципы симметрии являются еще более великими, в смысле - более общими? В определенном смысле да. Сошлемся на еще одного из виднейших физиков-теоретиков XX в. Е. Вигнера, который в лекции, посвященной вручению ему Нобелевской премии (1965) назвал принципы симметрии "законами законов". Выше, в параграфе, посвященном методологическому значению принципов инвариантности, была отмечена лишь малая часть огромных достижений, полученных с помощью этих принципов в науке. Но закономерен вопрос: почему же столь эффективное средство теоретического анализа как принципы инвариантности до сих пор пренебрежимо мало используется в почвоведении? Перефразируя того же Е. Вигнера (1968) можно использовать более энергичное выражение о "непостижимой неэффективности" математики в почвоведении. Вряд ли можно дать однозначный ответ, во всяком случае, такой, с которым согласится большинство почвоведов.

Некоторые объективные и субъективные причины этой "непостижимой неэффективности" мы постарались рассмотреть выше в параграфе, посвященном критическому рассмотрению применения системного подхода в почвоведении. Приведем еще некоторые примеры, поясняющие нашу позицию в этом вопросе, хотя отдаем себе отчет в том, что для многих они могут показаться неубедительными.

Если различать теоретический и эмпирический уровни исследования, то учение о почвах по применяемым методам исследования в настоящее время в целом продолжает оставаться эмпирической наукой. Понимание этого демонстрирует использование понятия "учение" вместо "теория", в названиях фундаментальных работ В.А. Ковды "Основы учения о почвах" или А.А. Роде "Основы учения о почвенной влаге". Использование понятия "учение" не означает уничижительного отношения. Существует же, например, "христианское учение". Просто учение – это не теория. Вместо понятия "учение" можно использовать понятие "общая теория".

Теоретические элементы, присутствующие в генетическом почвоведении, например – законы почвообразования, первые формулировки которых были даны еще В. В. Докучаевым, получены как *индуктивные* обобщения эмпирических данных и в большинстве своем до сих пор не перешли со стадии *качественных* утверждений на *количественную*.

И наконец, для развития специальной физико-теоретической дисциплины также недостаточно введения многочисленных образных и метафорических *качественных* понятий типа "почва-память", "почва-функция", "почва-отражение" или дискуссии о том, какой термин является более удачным – "почва-момент" или "почва-жизнь" (Соколов, 2004). Это свойственно скорее поэзии, а не науке. В каких-нибудь науках еще, кроме почвоведения, существует подобная система понятий? Более близкой нам представляется точка зрения Р. Фейнмана (1987) о том, что расплывчатая теория позволяет получать любые результаты, вплоть до противоположных. Или известная позиция выдающегося физика-теоретика, одного из создателей квантовой механики и общей теории поля В. Гейзенберга (1989), утверждавшего, что физическая теория не должна содержать лишних понятий, которым не соответствует непосредственно наблюдаемые величины. Нам представляется, что мезоскопический подход, описанный в настоящей работе, удовлетворяет строгим требованиям, предъявляемым к физико-теоретическим подходам.

ВЫВОДЫ

1. Цель работы заключалась в разработке физико-теоретических основ мезоскопического подхода к изучению количественных взаимосвязей "почва - климат". При этом за эмпирическую основу были взяты величины, которые *нужно*, а не те, которые *можно легко* измерить.

2. В техническом отношении мезоскопический подход разрабатывался путем постепенной трансформации макроскопического подхода:

- а) замены испарения с поверхности свободной влаги на испарение из почвы и транспирацию. Вместо формул (1) и (2) по отдельности, используется обобщающая их формула (3);
- б) разделения функции испарения (3) на две новые переменные (вместо старых - E, R, P) и интерпретация их как обобщенных переменных в смысле теории подобия. Запись инвариантного уравнения, связывающего новые обобщенные переменные;
- в) варьированием масштаба в определениях обобщенных переменных находится условие инвариантности (устойчивости) границ почвенных ареалов. В форме (пока временной)

гипотезы формулируется принцип оптимальности для соотношения тепла и влаги для каждого почвенного ареала и вводится масштабный фактор, как количественный показатель этого соотношения - ν .

3. Одна из задач мезоскопического подхода – определить параметры, характеризующие интегральное гидротермическое состояние почвы без информации о гидро-теплофизических свойствах почвенного профиля. Эта информация заменяется на знание функции суммарного испарения почвенной влаги. Показано, что новые переменные X и Y (4), введенные с целью записи функции испарения (3) в инвариантной форме, решают эту задачу – устанавливают искомую связь внутрипочвенного гидротермического состояния от внешних климатических факторов R и P .

4. Одновременно с этим новые переменные X и Y интерпретированы как детализация введенного В.Р. Волобуевым коэффициента полноты использования радиационной энергии. В этом смысле новые переменные являются соответственно коэффициентами полноты использования тепла и влаги в почве.

5. Сформулирован новый принцип оптимальности, утверждающий, что почва приходит в равновесие с внешними факторами при определенном соотношении внутрипочвенных тепла и влаги. Следствием принципа оптимальности явилась необходимость введения нового параметра – масштабного фактора ν , количественно характеризующего это соотношение. Таким образом показано, что в задаче о почвенно-климатических взаимосвязях, должны существовать оптимальные соотношения не только между внешними и внутренними гидротермическими факторами в целом, но и между теплом и влагой внутри почвы.

6. Рассчитаны масштабные факторы ν для каждого почвенно-биоклиматического ареала. Показано, что они закономерно изменяются в зависимости от внешних климатических условий и могут служить индикатором эволюционных изменений почвенных свойств при изменении климата.

7. В перспективе принцип оптимальности и масштабный фактор могут служить рабочими инструментами для выделения однородных подсистем – ареалов в пределах заданных почвенных общностей. В этом заключается дальнейшая возможность применения принципа оптимальности в почвоведении и установление связи масштабного фактора с экспериментально определяемыми свойствами почв.

8. С использованием новых переменных и масштабного фактора получена новая группировка почвенно-биоклиматических ареалов, отличающаяся от группировки В. Р. Волобуева в существенных деталях. Ее отличительной особенностью (и преимуществом) является то, что она получена полностью теоретическим методом - расчетом из функции испарения.

9. Показано, что новые обобщенные переменные X и Y не противоречат традиционным гидротермическим коэффициентам (1) и (2), но асимптотически связаны с ними. В этом смысле новые переменные являются обобщением гидротермических коэффициентов и одновременно устанавливаю логическую (системную) связь между ними.

10. В почвенно-климатических закономерностях обнаружено несколько новых преобразований симметрии – при выводе универсального уравнения (4); при формулировке принципа оптимального перераспределения тепла и влаги в почве;

11. Преимущество масштабного фактора перед гидро- и терморядами В.Р. Волобуева заключается в том, что последние лишь в промежуточной асимптотике коррелируют с границами ареалов. В мезоскопическом подходе масштабный фактор совпадает с ними полностью.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства высшего образования и науки Российской Федерации по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамова Н.Т. *Редукционистские тенденции кибернетики* // Кибернетика и диалектика. М.: Наука, 1978. С. 287-306.
2. Агошкова Е.Б., Ахлибинский Б.В., Флейшман Б.С. *Системология: сущность и место в научном знании* // Синергетика и методы науки. С.-Петербург: Наука, 1998. С. 63-76.
3. Акчурин И.А. *Единство естественно-научного знания*. М.: Наука, 1974. 208 с.
4. Асеев В.А. *Экстремальные принципы в естествознании и их философское содержание*. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 232 с.

5. Ахромеева Т.С., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г., Самарский А.А. *Нестационарные структуры и диффузионный хаос*. М.: Наука, 1992. 544 с.
6. Бир Г.Л., Пикус Г.Е. *Симметрия и деформационные эффекты в полупроводниках*. М.: Наука, 1972. 584 с.
7. Бриджмен П. *Анализ размерности*. Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2001. 148 с.
8. Будыко М.И. *Тепловой баланс земной поверхности*. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 256 с.
9. Вигнер Е. *События, законы природы, принципы инвариантности* // Успехи физических наук. 1965. Том 85. Вып. 4. С. 727-736. doi: [10.3367/UFNr.0085.196504g.0727](https://doi.org/10.3367/UFNr.0085.196504g.0727)
10. Вигнер Е. *Непостижимая эффективность математики в естественных науках* // Успехи физических наук. 1968. Том 94. Вып. 3. С. 535-546. doi: [10.3367/UFNr.0094.196803f.0535](https://doi.org/10.3367/UFNr.0094.196803f.0535)
11. Волобуев В.Р. *Экология почв*. Баку: Изд-во АН Азерб. ССР, 1963.
12. Волобуев В.Р. *Введение в энергетику почвообразования*. М.: Наука, 1974. 128 с.
13. Волобуев В.Р. Климатические условия и почвы // *Почвоведение*. 1956. № 4. С. 24–37.
14. Волобуев В.Р. О почвенно-климатических ареалах // *Почвоведение*. 1945. № 1. С. 3–16.
15. Волобуев В.Р. *Почвы и климат*. Баку: Изд. Акад. наук Азерб. ССР., 1953. 320 с.
16. Волобуев В.Р. *Система почв мира*. Баку: ЭЛМ, 1973. 308 с.
17. Гапонов-Грехов А.В. Рабинович М.И. *Нелинейная физика. Стохастичность и структуры* // Физика XX века. Развитие и перспективы. М.: Наука, 1984. С. 219-280.
18. Гейзенберг В. *Физика и философия. Часть и целое*. М.: Наука, 1989. 400 с.
19. Гладышев Г.П. *Термодинамика и макрокинетика природных иерархических процессов*. М.: Наука, 1988. 287 с.
20. Глазовская М.А. *Общее почвоведение и география почв*. М. Высшая школа. 1981. 400 с.
21. Глобус А. М. *Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей*. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 427 с.
22. Глобус А. М. *Физика неизотермического внутрипочвенного влагообмена*. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.
23. Гухман А. А. *Введение в теорию подобия*. М.: "Высшая школа", 1973. 296 с.
24. Девис П. *Суперсила. Поиски единой теории природы*. М.: Мир, 1989. 272 с.
25. Добровольский Г.В. Философские аспекты генетического почвоведения // *Почвоведение*, 2004. № 8. С. 901-910.
26. Добровольский Г.В., Урусевич И. С. *География почв*. М. Изд-во МГУ. 2004. 460 с.
27. Дружинин Д. Л., Ванярхо В. Г. *Синергетика и методология системных исследований* // Системные исследования. М.: Наука, 1989. С. 283-303.
28. Дышлевый П.С. *Эволюция "принципов описания" в физическом познании* // Философские основания естественных наук. М.: Наука, 1976. С. 91-117.
29. Заславский Г. М., Сагдеев Р. З. *Введение в нелинейную физику. От маятника до турбулентности и хаоса*. М.: Наука, 1988. 368 с.
30. Конопельченко Б.Г., Румер Ю.Б. Атомы и адроны (Проблема классификации) // Успехи физических наук. 1979. Т.129. Вып.2. С.339–345. doi: [10.3367/UFNr.0129.197910i.0339](https://doi.org/10.3367/UFNr.0129.197910i.0339)
31. Кулаков Ю. И. *Классификация химических элементов на новой основе* // Классическое естествознание и современная наука. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1991. С. 97–118.
32. Кулаков Ю.И. *Теория физических структур*. Новосибирск: Изд-во "Альфа Виста", 2004. 851 с.
33. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Квантовая механика. Нерелятивистская теория*. Т.3. М.: Наука, 1989. С. 768.
34. Любарский Г.Я. *Теория групп и физика*. М.: Наука, 1986. 224 с.
35. Мичурин Б.Н. *Энергетика почвенной влаги*. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 141 с.
36. Неймарк Ю. И., Ланда П. С. *Стохастические и хаотические колебания*. М.: Наука, 1987. 424 с.
37. Николис Г., Пригожин И. *Познание сложного. Введение*. М.: Мир, 1990. 344 с.
38. Овчинников Н. Ф. *Принципы сохранения. Законы сохранения. Симметрия. Структура*. М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. 336 с.
39. Овчинников Н.Ф. *Принципы теоретизации знания*. М.: Институт философии РАН, 1996. 215 с.
40. Овчинников Н.Ф. *Тенденция к единству науки*. М.: Наука, 1988. 272 с.
41. Онищенко В.Г. *Подобие термодинамических характеристик почвенной влаги и их обобщенное описание*. Автореферат дис. доктора сельскохозяйственных наук. М.: 1988. 48 с.
42. Пачепский Я.А. *Математические модели физико-химических процессов в почвах*. М.: Наука, 1990. 188 с.
43. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В. Топаж А.Г. *Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур*. Изд-во С.-Петербургского ун-та, 2006. 396 с.
44. Преображенский Н.Г. *Эвристический характер свойств симметрии в физике* // Методологические проблемы математической физики. Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1986. с. 232–245.
45. Разумовский О.С. *Теория групп* // Методологические проблемы математической физики. Новосибирск: Наука, Сиб-е отде-е, 1986. с. 225–231.
46. Розен Р. *Принцип оптимальности в биологии*. М.: "Мир", 1969. 216 с.
47. Румер Ю.Б., Фет А. И. *Группа Spin(4) и таблица Менделеева* // Теор. и мат. физика. 1971. Т. 9. № 2. С.203–210. doi: [10.1007%2F2F01036944](https://doi.org/10.1007%2F2F01036944)
48. Садовский В. Н. *Основания общей теории систем. Логико-методологический анализ*. М.: Наука, 1974. 280 с.

49. Седов Л.И. *Методы подобия и размерности в механике*. М.: Наука, 1981. 448 с.
50. Сиротенко О.Д. *Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем*. М.: Гидрометеониздат, 1981. 166 с.
51. Соколов И.А. *Теоретические проблемы генетического почвоведения*. Новосибирск: "Гуманитарные технологии", 2004. 288 с.
52. Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П., Миллер Г.Ф. *Условия и интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов Предсалаирья* // Почвоведение. 2013. № 11. С.1397-1408. doi: [10.7868/S0032180X13110099](https://doi.org/10.7868/S0032180X13110099)
53. Топаж А.Г. *Динамические модели продуктивности: тупик или распутье?* СПб.: АФИ, 2014. С. 48-69.
54. Урманцев Ю.А. *Симметрия природы и природа симметрии. Философские и естественно-научные аспекты*. М., 1974. 229 с.
55. Усков И.Б., Мусеев К.Г. Развитие моделирования с применением теории и методов подобия в агрофизике // Агрофизика. 2018. №1. С. 53-63. doi: [10.25695/AGRPH.2018.01.07](https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.01.07)
56. Фейнман Р. *Характер физических законов*. М.: Наука, 1987. 160 с.
57. Чичулин А.В. Методологический анализ понятийного аппарата в экологии почв // *Почва и окружающая среда*. Том 2. № 3. 2019. е89. doi: [10.31251/10.31251/pos.v2i3.89](https://doi.org/10.31251/10.31251/pos.v2i3.89)

Поступила в редакцию 17.10.2020

Принята 26.11.2020

Опубликована 27.11.2020

Сведения об авторе:

Чичулин Александр Валентинович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, Россия); chichulin@issa-siberia.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



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

PHYSICO-THEORETICAL BASIS OF THE MESOSCOPIC APPROACH TO STUDY SOIL-CLIMATIC REGULARITIES

© 2020 A.V. Chichulin

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: chichulin@issa-siberia.ru

Aim of the study. *The aim of the work was to review critically the practice of applying system approach in soil research and identify existing problems; to consider the cognitive potential of micro- and macroscopic approaches in computational simulation of soil-bioclimate regularities.*

Methodology. *Mathematical simulation.*

Results of the study. *A new mesoscopic approach to the study of the structure of soil-bioclimate areas is proposed. It is based on two principles referred to as the principle of invariance and the principle of optimality. Application of these principles makes it possible to express the regularities in soil-climate relationship in the form of a single universal quantitative dependence. The study showed that a mathematical model built on the basis of these principles resulted in the emergence of new generalized concepts, logically combining the previously considered to be unrelated concepts of hydro- and thermal series introduced by V.R. Volobuev, the Vysotsky - Ivanov moisture coefficient and the radiation dryness index by M. Budyko. In addition, the simulation showed that the concepts elucidating the indicator of the radiation energy utilization by biogeocenosis were represented by the interrelated coefficients of the heat and precipitation utilization in soils. The coefficients were also shown to have specific values for different soil-bioclimate areas. On the basis of the new indicators, soils were grouped in such a way as to produce patterns essentially different in many details from the conventional grouping.*

Conclusions. *The new concepts represent a unified integral system, and the approach as a whole can be considered as an alternative physico-theoretical way to describe natural laws and regularities by using extreme (variational) methodology.*

Key words: *symmetry principle; optimality principle; system approach; hydrothermal coefficients; idealizations; mathematical model*

How to cite: *Chichulin A.V. Physico-theoretical basis of the mesoscopic approach to the study of soil and climatic regulations // The Journal of Soils and Environment. 2020. 3(2). e116. doi: 10.31251/pos.v3i2.116 (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. Abramova N.T. *Reductionist tendencies of cybernetics* In book: *Cybernetics and dialectics*. Moscow: Nauka, 1978, p. 287-306. (in Russian)
2. Agoshkova E.B., Akhlibinsky B.V., Fleishman B.S. *Systemology: essence and place in scientific knowledge* // *Synergetics and methods of science*. St. Petersburg: Nauka, 1998. S. 63-76. (in Russian)
3. Akchurin I.A. *Unity of natural science knowledge*. Moscow: Nauka, 1974. 208 p.
4. Aseev V.A. *Extremal principles in natural science and their philosophical content*. Leningrad: Publishing House of Leningrad State University, 1977. 232 p. (in Russian)
5. Akhromeeva T.S., Kurdyumov S.P., Malinetskiy G.G., Samarskiy A.A. *Nonstationary structures and diffusion chaos*. Moscow: Nauka, 1992. 544 p. (in Russian)
6. Bir G.L., Pikus G.E. *Symmetry and deformation effects in semiconductors*. Moscow: Nauka, 1972. 584 p. (in Russian)
7. Bridgman P. *Dimension Analysis*. Izhevsk: Research Center "Regular and Chaotic Dynamics", 2001. 148 p. (in Russian)
8. Budyko M.I. *Heat balance of the earth's surface*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1956. 256 p. (in Russian)
9. Wigner E. *Events, laws of nature, principles of invariance*, *Physics-Uspekhi*, 1965, Vol. 85, Issue 4, p. 727-736. doi: 10.3367/UFNr.0085.196504g.0727 (in Russian)
10. Wigner E. *Incomprehensible effectiveness of mathematics in the natural sciences*, *Physics-Uspekhi*, 1968, Vol. 94, Issue 3, p. 535-546. doi: 10.3367/UFNr.0094.196803f.0535 (in Russian)
11. Volobuev V.R. *On Soil-Climatic Areas*, *Pochvovedenie*, 1945, No.1, p.3-16. (in Russian)
12. Volobuev V.R. *Soils and climate*. Baku, ed. Acad. Sciences Azerb. SSR., 1953. 320 p. (in Russian)
13. Volobuev V.R. *Climatic conditions and soils*, *Pochvovedenie*, 1956, No.4, p.24-37. (in Russian)
14. Volobuev V.R. *Soil system of the world*. Baku: ELM Publ., 1973, 308 p. (in Russian)
15. Volobuev V.R. *Ecology of soils*. Baku: Publishing House of the Academy of Sciences of Azerbaijan. SSR, 1963. (in Russian)
16. Volobuev V.R. *Introduction to the energy of soil formation*. Moscow: Nauka Publ., 1974. 128 p. (in Russian)
17. Gaponov-Grekhov A.V., Rabinovich M.I. *Nonlinear Physics. Stochasticity and structures* In book: *Physics of the XX century. Development and prospects*. Moscow: Nauka Publ., 1984, p. 219-280. (in Russian)
18. Heisenberg V. *Physics and Philosophy. Part and whole*. Moscow: Nauka Publ., 1989, 400 p. (in Russian)
19. Gladyshev G.P. *Thermodynamics and macrokinetics of natural hierarchical processes*. Moscow: Nauka Publ., 1988, 287 p. (in Russian)
20. Glazovskaya M. A. *General soil science and soil geography*. Moscow: High School Publ., 1981, 400 p. (in Russian)
21. Globus A. M. *Soil and hydrophysical support of agroecological mathematical models*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1987, 427 p. (in Russian)
22. Globus A.M. *Physics of non-isothermal intrasoil moisture exchange*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1983, 278 p. (in Russian)
23. Gukhman A. A. *Introduction to the theory of similarity*. Moscow: Higher School Publ., 1973, 296 p. (in Russian)
24. Davis P. *Superpower. The search for a unified theory of nature*. Moscow: Mir Publ., 1989, 272 p. (in Russian)
25. Dobrovolsky G.V. *Philosophical aspects of genetic soil science*, *Pochvovedenie*, 2004, No 8, p. 901-910. (in Russian)
26. Dobrovolsky G.V., Urusevich I.S. *Geography of soils*. Moscow: Publishing House of Moscow State University. 2004, 460 p. (in Russian)
27. Druzhinin D.L., Vanyarkho V.G. *Synergetics and methodology of system research* In book: *System Research*. Moscow: Nauka Publ., 1989. p. 283-303. (in Russian)
28. Dyshleviy P.S. *Evolution of "principles of description" in physical knowledge* In book: *Philosophical foundations of natural sciences*. Moscow: Nauka Publ., 1976, p. 91-117. (in Russian)
29. Zaslavsky G.M., Sagdeev R.Z. *Introduction to nonlinear physics. From a pendulum to turbulence and chaos*. Moscow: Nauka Publ., 1988, 368 p. (in Russian)
30. Konopelchenko B.G., Rumer Yu.B. *Atoms and hadrons. (Classification problem)*, *Physics-Uspekhi*, 1979, Vol. 129, Issue 2, p. 339-345. doi: 10.3367/UFNr.0129.197910i.0339 (in Russian)
31. Kulakov Yu.I. *Classification of chemical elements on a new basis* In book: *Classical natural science and modern science*. Novosibirsk. Publishing House NSU, 1991, p. 97-118. (in Russian)
32. Kulakov Yu.I. *The theory of physical structures*. Novosibirsk: Publishing house "Alpha Vista", 2004. 851 p. (in Russian)

33. Landau L.D., Lifshits E.M. *Quantum mechanics. Non-relativistic theory*. Vol.3. Moscow: Nauka Publ., 1989, p. 768. (in Russian)
34. Lyubarsky G.Ya. *Group theory and physics*. Moscow: Nauka Publ., 1986, 224 p. (in Russian)
35. Michurin B.N. *Energetics of soil moisture*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1975, 141 p. (in Russian)
36. Neimark Yu.I., Landa P.S. *Stochastic and chaotic oscillations*. Moscow: Nauka Publ., 1987, 424 p. (in Russian)
37. Nicolis G., Prigogine I. *Cognition of the Complex. Introduction*. Moscow: Mir Publ., 1990, 344 p. (in Russian)
38. Ovchinnikov N.F. *Principles of conservation. Conservation laws. Symmetry. Structure*. Moscow: Book House "LIBROKOM", 2009, 336 p. (in Russian)
39. Ovchinnikov N. F. *Principles of theorizing knowledge*. Moscow: Institute of Philosophy, Russian Academy of Sciences, 1996, 215 p. (in Russian)
40. Ovchinnikov N. F. *The trend towards the unity of science*. Moscow: Nauka Publ., 1988, 272 p. (in Russian)
41. Onishchenko V.G. *Similarity of thermodynamic characteristics of soil moisture and their generalized description*. Abstract dis. Doctor of Agricultural Sciences. Moscow, 198, 48 p. (in Russian)
42. Pachepskiy Ya.A. *Mathematical models of physical and chemical processes in soils*. Moscow: Nauka Publ., 1990, 188 p. (in Russian)
43. Poluektov R.A., Smolyar E.I., Terleev V.V., Topazh A.G. *Models of the production process of agricultural crops*. Publishing house of St. Petersburg University, 2006, 396 p. (in Russian)
44. Preobrazhensky N.G. *Heuristic nature of symmetry properties in physics* In book: Methodological problems of mathematical physics. Novosibirsk: Nauka, Sib-e department, 1986, p. 232-245. (in Russian)
45. Razumovskii O.S. *Group theory* In book: Methodological problems of mathematical physics. Novosibirsk: Nauka Publ., Siberian Branch, 1986, p. 225-231. (in Russian)
46. Rosen R. *Optimality principle in biology*. Moscow: "Mir" Publ., 1969, 216 p.
47. Rumer Yu. B., and Fet A.I., The Spin (4) group and the periodic table, *Theoret. and Math. Phys*, 1971, Vol. 9, No.2, p. 1081–1085. doi: [10.1007%2FBFB01036944](https://doi.org/10.1007%2FBFB01036944) (in Russian)
48. Sadovskiy V.N. *Foundations of the general theory of systems. Logical and methodological analysis*. Moscow: Nauka Publ., 1974, 280 p. (in Russian)
49. Sedov L.I. *Similarity and Dimension Methods in Mechanics*. Moscow: Nauka Publ., 1981, 448 p.
50. Sirotenko O.D. Mathematical modeling of water-thermal regime and productivity of agroecosystems. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1981, 166 p. (in Russian)
51. Sokolov I.A. *Theoretical problems of genetic soil science*. Novosibirsk: "Humanitarian technologies", 2004, 288 p. (in Russian)
52. Tanasienko A.A., Chumbaev A.S. Yakutina O.P. Miller G.F. Conditions and intensity of erosion-accumulative processes in the Pre-Salair region, *Pochvovedenie*, 2013, No, 11, p.1397-1408. doi: [10.7868/S0032180X13110099](https://doi.org/10.7868/S0032180X13110099) (in Russian)
53. Topazh A.G. Dynamic Productivity Models: Dead End or Crossroads? Sankt-Petersburg.: AFI Publ., 2014.S. 48-69. (in Russian)
54. Urmantsev Yu. A. *Symmetry of nature and the nature of symmetry. Philosophical and natural science aspects*. Moscow, 1974, 229 p. (in Russian)
55. Uskov I.B., Moiseev K.G. Development of modeling with the application of theory and methods of similarity in agrophysics, *Agrofizika*, 2018, No. 1, p. 53-63. doi: [10.25695/AGRPH.2018.01.07](https://doi.org/10.25695/AGRPH.2018.01.07) (in Russian)
56. Feynman R. *The nature of physical laws*. Moscow: Nauka Publ., 1987.160 p. (in Russian)
57. Chichulin A.V. Methodological analysis of the conceptual framework in soil ecology, *The Journal of Soils and Environment*, 2019, Vol. 2, No.3, e89. doi: [10.31251/pos.v2i3.89](https://doi.org/10.31251/pos.v2i3.89) (in Russian)

Received 17 October 2020

Accepted 26 November 2020

Published 27 November 2020

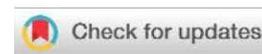
About the author:

Chichulin Alexander V. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); chichulin@issa-siberia.ru

The author read and approved the final manuscript



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



К 80-ЛЕТИЮ ДОКТОРА БИОЛОГИЧЕСКИХ НАУК АНАТОЛИЯ АЛЕКСЕЕВИЧА ТАНАСИЕНКО, ВЕДУЩЕГО СПЕЦИАЛИСТА В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЭРОЗИОВЕДЕНИЯ В СИБИРИ

© 2020 С.Я. Кудряшова, А.С. Чумбаев

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

Приведены биографические данные и краткий очерк научной деятельности д.б.н. А.А. Танасиенко, более 10 лет посвятившего деятельности на посту заместителя директора по научной работе Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Более 15 лет А.А. Танасиенко работал заведующим лабораторией почвенно-физических процессов и стал одним из ведущих специалистов в области экологического эрозиоведения в Сибири.

Ключевые слова: Танасиенко Анатолий Алексеевич; экологические аспекты эрозионных процессов; генетико-производственные свойства склоновых почв; процессы геохимической и плоскостной эрозии

Цитирование: Кудряшова С.Я., Чумбаев А.С. К 80-летию доктора биологических наук Анатолия Алексеевича Танасиенко, ведущего специалиста в области экологического эрозиоведения в Сибири // Почвы и окружающая среда. 2020. Том 3. № 2. e122. doi: [10.31251/pos.v3i2.122](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.122)



Один из самых известных ветеранов ИПА СО РАН Анатолий Алексеевич Танасиенко родился 20 декабря 1940 г. в Карагандинской области Казахской ССР. После службы в ракетных войсках стратегического назначения Советской Армии (1959–1962) А.А. Танасиенко поступил в Кишиневский государственный университет. В Сибирь он попал на производственную практику после четвертого курса по приглашению сотрудника Биологического института СО АН СССР А.Д. Орлова, инициатора нового научного направления, посвященного изучению проявления эрозионных процессов в условиях резко континентального климата. Так, еще в студенческие годы, а затем в составе лаборатории физики, мелиорации и эрозии почв отдела почвоведения Биологического института

СО АН СССР, Анатолием Алексеевичем впервые были начаты исследования по выявлению условий развития эрозии на уникальных черноземах Кузнецкой котловины, представляющих основной пахотный фонд Кузбасса.

Для изучения эрозионных процессов в расчлененной части Кузнецкой котловины был создан Тарадановский полустационар (1968), на котором лаборант, а затем младший научный сотрудник А.А. Танасиенко в течение 13 лет проводил наблюдения за динамикой снегоотложения, количеством и интенсивностью жидких атмосферных осадков, температурным режимом черноземов, сформированных на плакоре и на склонах, режимом влажности полнопрофильных и эродированных почв. В результате этих многолетних наблюдений А.А. Танасиенко были изучены свойства эродированных черноземов и установлена зависимость основных свойств почв от степени их эродированности, выявлена высокая эффективность ячеистой и гребнистой обработки почв и возделывания многолетних трав в борьбе со смывом почв. Материалы исследований были опубликованы в журнальных статьях и коллективных монографиях (Танасиенко, 1974; Хмелев, Танасиенко, 1983), а также были положены в основу кандидатской диссертации “Влияние водной эрозии на свойства черноземов Кузнецкой котловины”, которую А.А. Танасиенко успешно защитил в 1975 г.

В дальнейшем, в течение более чем тридцатилетней научной деятельности в ИПА Анатолий Алексеевич участвовал в многочисленных полевых маршрутах и экспедициях на Алтае, в

Кузбассе и Новосибирской области. В этот период в ИПА расширяется сеть стационаров, охватывающая различные природные зоны Сибири. Одним из ведущих направлений научной программы работы стационаров является изучение эрозионных и геохимических процессов и разработка противоэрозионных мероприятий. Силами сотрудников лаборатории эрозии почв была создана сеть стационаров и полустационаров в лесостепной зоне – в Предсалаирье, Приобье, Кузнецкой котловине, на Бие-Чумышской возвышенности. А.А. Танасиенко довелось проводить исследования практически на всех стационарах, в результате были получены новые данные, отражающие специфику проявления и интенсивность развития эрозионных процессов в условиях естественного функционирования и хозяйственного использования земель. Обширный фактический материал, имеющий теоретическую новизну и научно-практическую значимость, был обобщен А.А. Танасиенко в докторской диссертации “Эрозия черноземов Западной Сибири”, которую он защитил в 1992 г. на специализированном совете в ИПА СО РАН. Научные результаты также стали основой фундаментальной монографии “Эродированные черноземы юга Западной Сибири” (1992), в которой на основе многолетнего изучения закономерностей стока талых вод и смыва почв были установлены динамические характеристики твердой фазы, в зависимости от интенсивности поверхностного стока; рассмотрены проблемы классификации смытых черноземов; представлена характеристика режимов смытых почв; приведены теоретические основы защиты черноземов от эрозии и дан прогноз изменений свойств почв при проведении противоэрозионных мероприятий (Танасиенко, 1992).

На посту заместителя директора по научной работе (1996–2006) А.А. Танасиенко с большой ответственностью относился к своим должностным обязанностям, а также успешно осуществлял руководство деятельностью Института в периоды отсутствия директора. Его большой практический опыт, знание научных проблем и направлений развития почвоведения и агрохимии имели широкое применение при разработке и координировании общеинститутских проектов и выполнении федеральных и государственных программ.

В 1993 г. д.б.н. А.А. Танасиенко стал заведующим лабораторией эрозии почв, а в 1996 г. возглавил новую лабораторию почвенно-физических процессов, сформированную из лабораторий эрозии почв и физики почв. В 1998 г. к новой лаборатории была присоединена лаборатория микробиологии почв. Лабораторией почвенно-физических процессов, коллектив которой решал многие научные проблемы, А.А. Танасиенко руководил до 2008 г. К числу основных достижений лаборатории, безусловно, следует отнести научные результаты, обобщенные А.А. Танасиенко в монографии “Специфика эрозии почв в Сибири” (2003), в которой впервые для обширного территориального региона рассмотрена специфика эрозионных процессов в условиях резко континентального климата, выявлены закономерности стока талых вод и смыва почв в зональном аспекте. Впервые детально охарактеризован сезонно-мерзлотный режим эродированных почв и выявлено влияние глубины промерзания профиля темно-серых лесных и черноземных почв на величину и интенсивность поверхностного стока талых вод, качество отчуждаемого почвенного материала. Рассмотрены экологические аспекты проблемы эрозии почв и обоснована эрозионная стойкость пахотных черноземов Сибири с учетом их генетических свойств. Особое внимание А.А. Танасиенко уделяет вопросам развития эрозионных процессов в зависимости от гидротермических условий почв. А.А. Танасиенко совместно с А.С. Чумбаевым впервые определили гидротермический режим склоновых почв Предсалаирья в холодный период гидрологического года как один из ведущих факторов весенней эрозии почв (Танасиенко, Чумбаев, 2008; Танасиенко и др., 2018).

Кроме научной и организационной работы А.А. Танасиенко проводил большую общественную работу. Длительное время он являлся председателем Новосибирского отделения Докучаевского общества почвоведов и осуществлял координацию почвенных исследований научных учреждений Новосибирской области. Большой вклад внес Анатолий Алексеевич в подготовительную работу и проведение IV съезда Докучаевского общества почвоведов (ДОП), который проходил на базе ИПА СО РАН с 9 по 13 августа 2004 г. Он выполнял функции заместителя вице-президента ДОП, которым являлся директор ИПА СО РАН член-корреспондент И.М. Гаджиев, входил в состав редакционно-издательской комиссии новосибирского оргкомитета. В итоге трудоемкой работы по подготовке рукописей к печати были изданы “Путеводитель научных полевых экскурсий” и “Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов” в двух томах, в которых были опубликованы тезисы докладов 1129 авторов. Танасиенко А.А. в числе других сотрудников ИПА СО РАН был отмечен Президиумом ДОП памятной медалью, выпущенной в честь 100-летия выхода книги В.В. Докучаева “Русский чернозем”, и стал членом

Центрального совета Докучаевского общества почвоведов, избранного на IV съезде. После съезда состоялись четыре научные полевые экскурсии. А.А. Танасиенко являлся руководителем двухдневной экскурсии на лесостепной противозерозионный стационар ИПА СО РАН, расположенный в сильно расчлененной части правобережья реки Обь (рисунок).



Почетные гости съезда: Почетный член ДОП **В.О. Таргульян**, вице-президент Польского общества почвоведов **С. Скиба**, Генеральный секретарь IUSS (2002-2010) **С. Нортклиф**, профессор **П. Склодовски** в составе группы сотрудников ИПА СО РАН.



В.О. Таргульян, А.А. Танасиенко, С. Нортклиф, П. Склодовски, С. Скиба, сотрудники ИПА СО РАН.

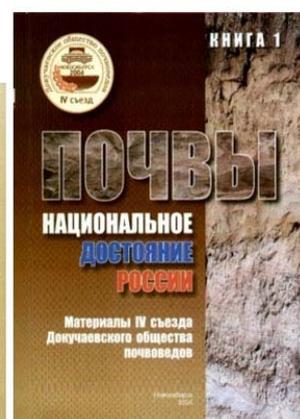


Рисунок. Полевая научная экскурсия, организованная для знакомства с эродированными почвами Предсалаирской дренированной равнины. Усть-Каменский стационар, 2004 г.

Наиболее важные научные достижения А.А. Танасиенко связаны с определением экологических последствий эрозионных процессов. На основе обобщения литературных и собственных материалов В.А. Хмелевым и А.А. Танасиенко была подготовлена фундаментальная монография “Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования” (2009), в которой представлены данные об использовании и качественном состоянии черноземных почв Предалтайской и Западно-Сибирской лесостепных провинций, представляющих основной фонд пахотных земель Западной Сибири. Авторы уделили большое внимание методическим принципам количественного и качественного учета, рационального использования наиболее ценных черноземов – выщелоченных и оподзоленных – и разработке их охранных мероприятий.

Почвы Кузбасса, наиболее промышленно развитого региона Западной Сибири, детально проанализированы в следующей совместной монографии В.А. Хмелева и А.А. Танасиенко “Почвенные ресурсы Кемеровской области и пути их рационального использования” (2013), значительная часть которой посвящена анализу проблемы по охране и рациональному использованию почв, в особенности наиболее ценных для земледелия черноземов. Даны рекомендации по защите этих почв от процессов дефляции и особенно эрозии, контролю за их отводом для несельскохозяйственных нужд, в первую очередь для открытой (карьерной) добычи каменного угля. Подчеркнута важность рационального использования и сохранения черноземов для будущих поколений и для народного хозяйства Кузбасса.

В монографии Н.А. Шапориной и А.А. Танасиенко “Проблемы орошения черноземов Приобья” (2014), обобщены результаты многолетних исследований по проблеме орошения черноземов Приобья. Дана сравнительная оценка свойств и режимов неорошаемых и орошаемых

черноземов и выявлены характер, направленность и интенсивность трансформации этих свойств в условиях орошения. Изучены особенности строения почвенно-грунтовых толщ Приобья, влияющие на процессы миграции влаги, как вертикальной, так и горизонтальной – поверхностной и внутрипочвенной. Теоретически и экспериментально обоснованы пути экологически безопасного регулирования влагообмена в орошаемых черноземах.

В настоящее время исследования А.А. Танасиенко направлены на формирование основ экологического эрозиоведения, которые будут использоваться для организации и разработки принципов и методов экосистемного природопользования. Им получены и обобщены обширные материалы о факторах и степени проявления эрозионных и дефляционных процессов на черноземных почвах – наиболее ценных сельскохозяйственных землях Новосибирской и Кемеровской областей. Предложены рекомендации по снижению эрозионно-дефляционных процессов, наносящих значительный экономический ущерб земледелию и вред природной среде. Сохранение и рациональное использование черноземов является актуальным как на современном этапе развития народного хозяйства Западной Сибири, так и в отдаленной перспективе для решения вопросов продовольственной безопасности страны.

В течение длительного времени Анатолий Алексеевич является членом диссертационного совета ИПА СО РАН, а также других диссертационных советов, принимая активное участие в их работе как на стадии предварительного рассмотрения и рецензирования представляемых диссертаций, так и в качестве оппонента.

По результатам выполненных исследований А.А. Танасиенко опубликовано более 160 печатных работ в отечественных и зарубежных изданиях.

Поздравляем Анатолия Алексеевича с юбилеем, желаем ему крепкого здоровья, благополучия его родным и близким, осуществления всех творческих планов и новых научных перспектив.

ЛИТЕРАТУРА

1. Танасиенко А.А. *Продукты твердого стока эродированных выщелоченных черноземов Кузнецкой котловины* // Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук. 1974. № 10. С. 3-7.
2. Танасиенко А.А. *Эродированные черноземы юга Западной Сибири*. Новосибирск: Наука. 1992. 152 с.
3. Танасиенко А.А. *Специфика эрозии почв в Сибири*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
4. [Танасиенко А.А., Чумбаев А.С. Особенности стока талых вод в Предсалаирье в чрезвычайно многоснежный гидрологический год // Сибирский экологический журнал. 2008. № 6. С. 907-919.](#)
5. [Танасиенко А.А., Чумбаев А.С. Условия формирования льдистого экрана в эродированных черноземах Западной Сибири // Почвоведение. 2010. № 4. С. 450-460.](#)
6. [Танасиенко А.А., Чумбаев А.С., Якутина О.П. Оценка глубины промерзания черноземов на юге Западной Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. №2. С. 90-96.](#)
7. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. *Черноземы Кузнецкой котловины*. Новосибирск: Наука. 1983. 256 с.
8. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. *Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования*. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2009. 349 с.
9. Хмелев В.А., Танасиенко А.А. *Почвенные ресурсы Кемеровской области и пути их рационального использования*. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2013. 477 с.
10. Шапорина Н.А., Танасиенко А.А. *Проблемы орошения черноземов Приобья*. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2014. 137 с.
11. Chumbaev A.S., Tanasienko A.A. *Measuring snowmelt in Siberia: Causes, Process and Consequences*. // Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. Mueller L., Sheudshen A.K., Eulenstein F. (Eds). Springer Water. 2016. Chapter 7. P. 213-233. doi: [10.1007/978-3-319-24409-9](#)
12. [Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Snowmelt runoff parameters and geochemical migration of elements in the dissected forest-steppe of West Siberia // Catena. 2009. Vol.78. Issue 2. P.122-128. doi: 10.1016/j.catena.2009.03.008](#)
13. [Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia // Catena. 2011. Vol.87. Issue 1. P.45-51. doi: 10.1016/j.catena.2011.05.004](#)
14. [Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Filimonova D.A. The impact of climatic humidity of the southeastern part of Western Siberia on spring deficit of moisture in the profiles of eroded Chernozems // Eurasian Soil Sc. 2019. Vol. 52. No. 8. P. 935-944. doi: 10.1134/S1064229319080143](#)

Поступила в редакцию 05.12.2020; принята 07.12.2020
Опубликована 11.12.2020

Сведения об авторах:

Кудряшова Светлана Яковлевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН; (Новосибирск, Россия); kudryashova@issa-siberia.ru

Чумбаев Александр Сергеевич – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией почвенно-физических процессов Института почвоведения и агрохимии СО РАН; (Новосибирск, Россия); chumbaev@issa-siberia.ru

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.



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

THE 80-TH ANNIVERSARY OF THE DOCTOR OF BIOLOGICAL SCIENCES ANATOLY ALEKSEEVICH TANASIENKO, THE LEADING SPECIALIST IN SOIL EROSION STUDIES IN SIBERIA

© 2020 S.Ya. Kudryashova, A.S. Chumbaev

Address: Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia. E-mail: kudryashova@issa-siberia.ru

The article gives biographical background and a brief outline of the research carried out by the Doctor of Biological Sciences A.A. Tanasienko, who for more than 10 years worked as Deputy Director for Research in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. For more than 15 years he worked as the Head of the Laboratory of soil-physical processes in the Institute and became one of the leading experts in soil erosion studies in Siberia.

Key words: *Tanasienko Anatoly Alekseevich; ecological aspects; soil erosion; soil genetic properties; soil production properties; slope soils*

How to cite: *Kudryashova S.Ya., Chumbaev A.S. The 80-th anniversary of the Doctor of Biological Sciences Anatoly Alekseevich Tanasienko, leading specialist in soil erosion studies in Siberia // The Journal of Soils and Environment. 2020. 3(2). e122. doi: [10.31251/pos.v3i2.122](https://doi.org/10.31251/pos.v3i2.122) (in Russian with English abstract).*

REFERENCES

1. *Tanasienko A.A. Products of solid runoff of eroded leached chernozems of the Kuznetsk Hollow, Izvestia of the Siberian Branch fo the USSR Acad. of Sci., Biol. Sci. Ser. 1974. No10. P.3-7. (in Russian).*
2. *Tanasienko A.A. Eroded chernozems of the south of Western Siberia. Novosibirsk, Nauka Publ. 1992. 152 p. (in Russian).*
3. *Tanasienko A.A. Specificity of soil erosion in Siberia. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2003. 176 p. (in Russian).*
4. *Tanasienko A.A., Chumbaev A.S. Features of snowmelt runoff waters in the Cis-Salair region in an extremely snow-rich hydrological year, Contemporary problems of ecol., 2008, Vol.1, No6, p. 687-696.*
5. *Tanasienko A.A., Chumbaev A.S. Conditions of the formation of ice barriers in eroded chernozems of Western Siberia, Eurasian Soil Sci. 2010, Vol. 43, No 4, p. 417–426. doi: [10.1134/S1064229310040071](https://doi.org/10.1134/S1064229310040071)*
6. *Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P. Assessment of the freezing depth of chernozems in the south of Western Siberia, Meteorologiya i Gidrologiya, 2018, No2, p. 90-96. (in Russian).*
7. *Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Chernozems of the Kuznetsk Hollow. Novosibirsk, Nauka Publ. 1983. 256 p. (in Russian).*
8. *Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Novosibirsk region and ways of their rational use. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2009. 349 p. (in Russian).*
9. *Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Land resources of the Kemerovo region and ways of their rational use Novosibirsk, SB RAS Publ. 2013. 477 p. (in Russian).*
10. *Shaporina N.A., Tanasienko A.A. Irrigation problems of the Ob region Chernozems. Novosibirsk, SB RAS Publ.2014. 137 p. (in Russian).*
11. *Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S. Snowmelt runoff parameters and geochemical migration of elements in the dissected forest-steppe of West Siberia, Catena, 2009, Vol.78, Issue 2, p.122–128. doi: [10.1016/j.catena.2009.03.008](https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.03.008)*

12. Chumbaev A.S., Tanasienko A.A. *Measuring snowmelt in Siberia: Causes, Process and Consequences*. In book Mueller L., Sheudshen A.K., Eulenstein F. (Eds) *Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia*. Springer Water. 2016. Chapter 7. p. 213-233. doi: [10.1007/978-3-319-24409-9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-24409-9)
13. *Tanasienko A.A., Yakutina O.P., Chumbaev A.S.* Effect of snow amount on runoff, soil loss and suspended sediment during periods of snowmelt in southern West Siberia, *Catena*, 2011, Vol.87, Issue 1, p.45-51. doi: [10.1016/j.catena.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.004)
14. *Tanasienko A.A., Chumbaev A.S., Yakutina O.P., Filimonova D.A.* The impact of climatic humidity of the southeastern part of Western Siberia on spring deficit of moisture in the profiles of eroded Chernozems, *Eurasian Soil Sci.*, 2019, Vol. 52, No. 8, p. 935–944. doi: [10.1134/S1064229319080143](https://doi.org/10.1134/S1064229319080143)

Received 05 December 2020

Accepted 07 December 2020

Published 11 December 2020

About the authors:

Kudryashova Svetlana Ya. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher in the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); kudryashova@issa-siberia.ru

Chumbaev Alexander S. – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Soil Physical Processes in the Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Novosibirsk, Russia); chumbaev@issa-siberia.ru

The authors read and approved the final manuscript



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