АРИДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ, 2022, том 28, № 2 (91), с. 40-50

СИСТЕМНОЕ ИЗУЧЕНИЕ АРИДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

УДК 911.2:502:571.51

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ МОБИЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА И ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НАЗАРОВСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

© 2022 г. И.Б. Воробьева

Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского Отделения РАН
Россия, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, д. 1. E_mail: Irina-vorobyeva@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.05.2021. После доработки 29.10.2021. Принята к публикации 13.01.2022.

В статье представлены результаты исследований по изменению содержания и запасов водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода и влаги природных и антропогенно измененных почв, а также изменения температуры естественных почв в разных местоположениях. Актуальность исследования обусловлена необходимостью анализа изменений изучаемых параметров в условиях краткосрочных изменений климата в островной лесостепи Назаровской котловины. В исследованиях были использованы общепринятые методы: ландшафтно-геохимический, сравнительно-аналитический, сравнительно-географический и статистический. Установлено, что запасы влаги в лугово-болотной почве максимальны, в почве лугово-черноземной выщелоченной – минимальны, а в черноземе обыкновенном луговатом и его антропогенной модификации – залежи – значения близки, что связно с их положением в рельефе и гидротермическим режимом. Выявлено экспериментальным путем («in situ»), что в черноземе обыкновенном луговатом температурная кривая более крутая, температуры промерзания более низкие, а период с отрицательными температурами более длительный, чем в лугово-болотной почве. Получены новые знания по изменению запасов водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода, содержанию влаги и колебанию климатических параметров (температуры воздуха и сумм осадков). Установлены внутригодовые изменения температуры естественных почв («in situ») островной лесостепи для более полного понимания динамики природных процессов, а также использования полученных результатов в дальнейших исследованиях по изучению островной лесостепи в изменяющемся климате.

Ключевые слова: природные, антропогенно измененные почвы, температура, влажность, запасы водорастворимых веществ, органический и минеральный углерод.

DOI: 10.24412/1993-3916-2022-2-40-50

Территория Средней Сибири в природном плане очень разнообразна. Она включает часть Средне-Сибирского плоскогорья, восточную кромку Западно-Сибирской равнины и северную часть Алтае-Саянской горной области. Лесостепь в Средней Сибири не имеет зонального характера и законы широтной зональности здесь нарушаются. Лесостепные участки представляют собой изолированные «острова» среди тайги. Они занимают обособленные районы, окруженные лесной растительностью. В пределах лесостепных «островов» растительность и почвы, характерные для степей, находятся на террасированных пространствах в долинах современных действующих и древних сухих водотоков. Возвышенные водосборные пространства заняты лесной растительностью.

Фундаментальные исследования о влиянии меняющихся гидроклиматических параметров на развитие и функционирование природных комплексов требуют получения новых знаний в условиях Средней Сибири, а именно, на территории Назаровской лесостепи.

Внутриконтинентальное расположение Назаровской лесостепи, в сочетании с особенностями котловинного рельефа, создают особые микроклиматические условия и многообразие состояний для развития почв и растительных сообществ. Почва является носителем различной информации (о прошлом и настоящем) и, вследствие этого, особое внимание уделяется изучению ее свойств. При исследовании почв кроме общепринятых методик применяется метод анализа водной вытяжки, которая дает представление о содержании в почве водорастворимых веществ и динамике почвенных

процессов. Общепризнано использование водной вытяжки для характеристики общих запасов легкорастворимых соединений и мобильных веществ почв, способных при определенных условиях переходить в почвенные растворы.

Установлено, что изменение общеклиматических параметров существенно влияет на состояние почвы (Природа и хозяйство …, 1983; Горбачев, 2014).

Цель исследования – проследить изменения содержания водорастворимых форм элементов (кальция, магния, общей щелочности) и углерода в сопряженном ряду: чернозем обыкновенный луговатый («луг» – III) – его антропогенная модификация («залежь» – IV) – лугово-черноземная выщелоченная («склон» – V) – лугово-болотная карбонатная почва («болото») и чернозем обыкновенный луговатый («луг») с термическим режимом естественных почв – лугово-болотная карбонатная почва («болото» – VI) в условиях изменения гидроклиматических параметров.

Для достижения цели были поставлены задачи: дать анализ динамики климатических параметров территории исследования (для общей характеристики климатических условий района исследований используются показатели метеостанции «Шарыпово»); выявить количественные изменения водорастворимых форм элементов (кальций, магний, углерод минеральный и органический) и содержание влаги во временном; показать изменения запасов водорастворимых веществ и колебания климатических параметров (временные рамки – 1981-1984 гг. и 2010-2014 гг.); обнаружить внутригодовые изменения температуры естественных почв в разных местоположениях.

Предыдущие исследования автора дали многообразный оригинальный материал о состоянии и динамике почв Назаровской лесостепи (Воробьева, 2020; Vorobyeva, 2013). В данной статье рассматриваются изменения запасов водорастворимых форм элементов и углерода в почвах разных местоположений связанные с колебаниями климатических параметров.

Материалы и методы

Район исследования расположен в центральной части Евразии и удален от морей и океанов на несколько тысяч километров. Для центральной части региона, преимущественно равнинной, с островными лесостепями и плодородными почвами, характерны относительно короткое жаркое лето, продолжительная холодная зима, быстрая смена температур. Средняя температура в январе составляет -18°С, а в июле +20 °С. В среднем в год выпадает 316 мм осадков, в основном летом. Снежный покров устанавливается в начале ноября и сходит к концу марта (Общая информация о Красноярском крае, 2013). Континентальный климат и сложный рельеф в совокупности создают множество локальных особенностей и экологических условий почвообразования. Водный и тепловой режимы отличаются значительной контрастностью, и как следствие, растительный и почвенный покров характеризуется большим разнообразием и пестротой. По физико-географическому районированию (Снытко и др., 1987) территория исследования относится к Назаровскому предгорно-котловинному округу Верхнечулымской провинции.

Территория Назаровской котловины интенсивно используется в народном хозяйстве. В советские времена степень использования земель достигала 66-69%, в постсоветские годы многие сельскохозяйственные земли были заброшены. Часть сельскохозяйственных земель оказалась невостребованной, и они стали зарастать, переходя в залежи (Доклад о состоянии …, 2019). Дальнейшее их развитие происходит по восстановительному типу, и они стремятся к своему природному аналогу.

Изучение закономерностей изменения физико-химических свойств почв проводились нашими предшественниками с начала 1980-х годов на ключевых участках с использованием метода сопряженного анализа вещества (Снытко и др., 1987). Первоначальное описание объектов исследования выполнено А.В. Мартыновым (1983), начавшим режимные наблюдения за миграцией вещества на данной территории. Наши исследования осуществлялись на Березовском физико-географическом стационаре Института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН в лесостепных геосистемах Назаровской котловины с 1986 по 2014 гг.

Предметом детальных исследований послужили почвы (рис. 1) фаций: элювиальная локально-аккумулятивная осоково-злаково-разнотравная с черноземом обыкновенным луговатым маломощным тучным среднесуглинистым на карбонатных покровных суглинках (по классификации 1977 года; т. «луг» – III); ее антропогенная модификация – злаково-разнотравная залежь с большим

количеством хвоща и подорожника (т. «залежь» – IV); трансэлювиально-аккумулятивная полугидроморфная разнотравно-луговая закустаренная с лугово-черноземной выщелоченной мощной намытой среднесуглинистой почвой на карбонатных покровных суглинках (т. «склон» – V) и трансаккумулятивная гидроаккумулятивная высокоразнотравно-осоковая закачкаренная закустаренная с лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почвой (т. «болото» – VI; Снытко и др., 1987).

Используемые методы: ландшафтно-геохимический метод позволяет проводить комплексное изучение компонентов ландшафтов в сопряженном ряду, с ним пересекаются сравнительно-аналитический и сравнительно-географический, первый используется для изучения почвы с поверхности и на всю глубину со сравнением вещественного состава, что позволяет выявить изменения, возникшие в результате почвообразования, превращение веществ, их передвижение; второй – сравнение различных компонентов ландшафтов и показать их особенности, наиболее характерные, а потому наиболее существенные черты; статистический метод дает возможность получить некоторые показатели расчетным путем, коэффициенты корреляции. Пробы почв отбирались с помощью бура в трехкратной повторности с глубин 0-5, 5-10 и далее через каждые 10 см до 50 см, затем высушивались до воздушно сухого состояния и исследовались по общеустановленным методикам (Аринушкина, 1970). Температура почвы измерялась с использованием термометра-щупа АМ-6 через 5 см до глубины 20 см. Содержание органического углерода определялось методом Тюрина после высушивания при 80 °С аликвоты вытяжки. Углерод бикарбонатной щелочности и от растворимых карбонатов переводился в $С_{мин.}$ умножением на условные коэффициенты 0.197 и 0.2 соответственно.

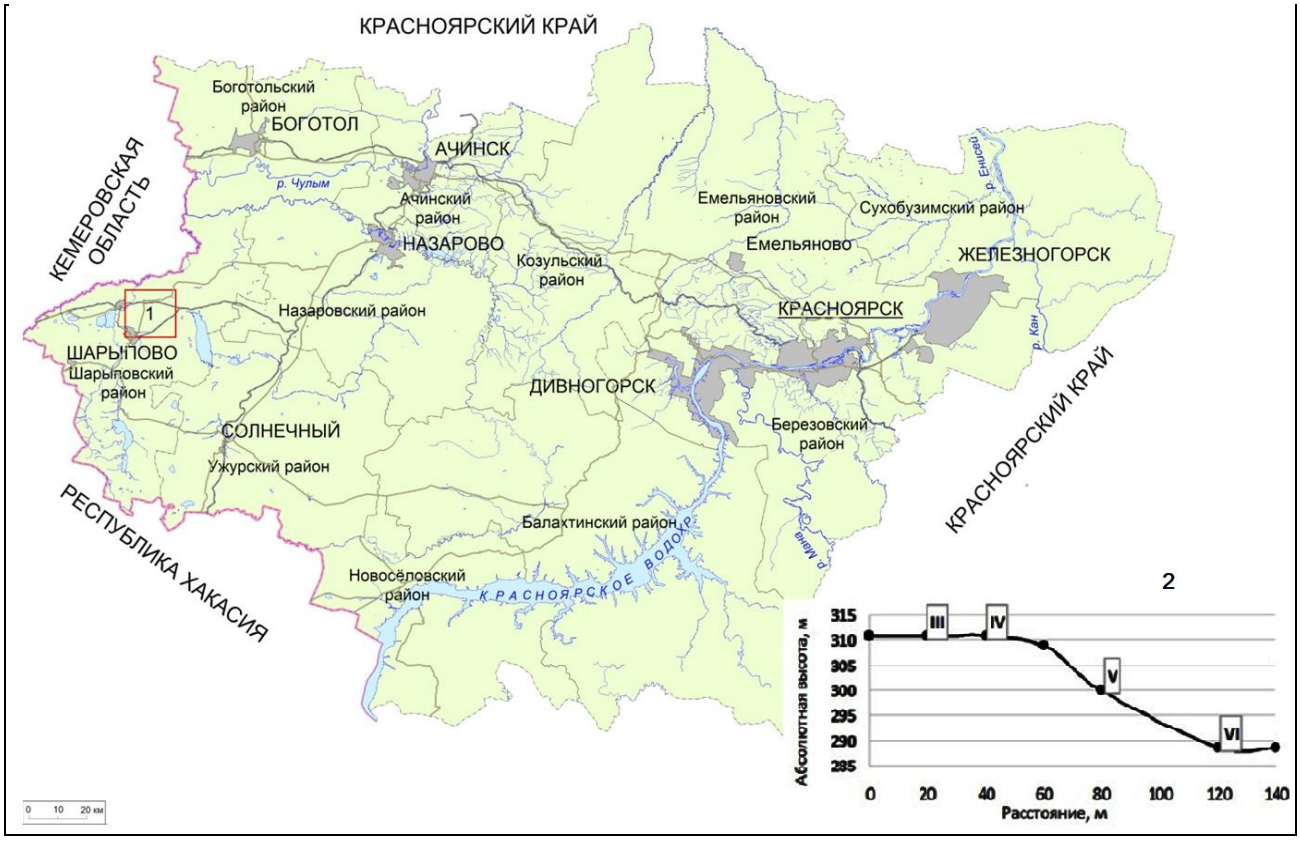

Рис. 1. Местоположение объектов исследований. Условные обозначения: 1 – Шарыповский район, ключевой участок «Отножка», 2 – схема ландшафтно-геохимического профиля.

Наблюдения проводились в конце июля – начале августа перед пиком поступления в почву опада, когда органические вещества почв стабилизировались в среднем, характерном для данной

почвы значении. Пробы почв отбирались ежегодно в середине вегетационного периода (в июле), на одних и тех же участках. За период наблюдений было отобрано и проанализировано более 200 образцов почв. Запасы элементов рассчитывались с учетом плотности каждого слоя на единицу площади. Проводились наблюдения за параметрами экологического состояния почвы (температурой и влажностью) в различные по гидроклиматическим условиям годы. Влажность почвы определялась весовым методом. Для записи температуры почвы на глубине 20 см в течение года применялись измерители температуры «ТЕРМОХРОН». Регистрация температуры проводилась каждые 3 часа с погрешностью ± 0.5°С в течение года (2009 VII-2010 VII). Как правило, в научных исследованиях, используются температурные данные ближайшей метеостанции. Датчики температуры были установлены «in situ» на выровненном участке луговой степи в черноземе обыкновенном луговатом (т. луг – III) и лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почве (т. болото – VI), в июле 2009, показания сняты в июле 2010 г. (55° 37.163' с.ш., 89° 11.714' в.д.). Отбор почвенных образцов, химический анализ и все расчеты проведены автором.

Для описания климатических условий района исследований были использованы данные температуры воздуха и суммы осадков метеостанции «Шарыпово» (55° 31.30' с.ш., 89° 12.00' в.д.), расположенной в 9 км к юго-западу от ключевых точек.

Результаты и обсуждение

При анализе динамики климатических параметров за период 1987-2018 гг. выявлено, что сумма осадков за год в большинстве случаев, близка к норме (444 мм), но могут быть колебания как в сторону увеличения (до 668 мм в 1996 г.), так и уменьшения (до 276 мм в 1989 г.; рис.2).

Обнаружено, что годовая сумма осадков показывает небольшое незначимое увеличение. Среднегодовая температура воздуха была отрицательной в 1996, 2009 и 2010 гг., а наибольшие значения были выявлены в 1995, 2002, 2007, 2015 и 2017 гг. (свыше 3.0°С при норме 0.9°С). Современной климатической нормой метеоэлементов считаются средние величины, рассчитанные за промежуток времени 1961-1990 гг., который был утверждён Всемирной Метеорологической Организацией (Что такое климатическая норма?, 2016).

За время наблюдений обнаружено несколько циклов изменений величины среднегодовой температуры воздуха и количества осадков, но все они возвращаются через некоторое время к «исходной» позиции – на начало цикла.

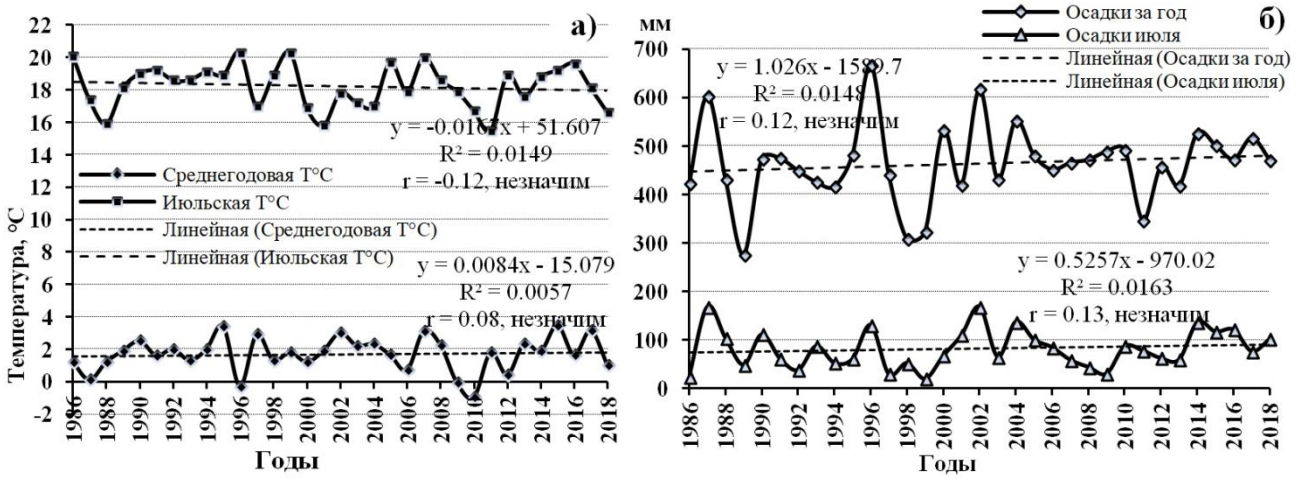

Рис. 2. Многолетняя динамика среднегодовой и среднеиюльской температуры воздуха (а) и среднегодовых и среднеиюльских суммарных осадков (б) по данным метеостанции Шарыпово.

Вегетационные сезоны в 1986-2018 гг. различались между собой, так в середине летнего периода (июль) холодно (на 1.5-2.0°С ниже нормы, норма для июля – 17.8 °С) было в: 1988, 1997, 2001, 2002, 2003, 2004, 2010, 2011 и 2018 гг. и июльских осадков выше нормы было в: 1987, 1988, 1990, 1993, 1996, 2001, 2002, 2004-2006, 2010, 2014-2016 и 2018 гг. – 1.5-2.5 нормы (норма для июля – 75 мм). Обнаружено, что 1988, 2001, 2002, 2004, 2010 и 2018 гг. были экстремальными – с большим

количеством влаги и низкими температурами, что отразилось на низком содержании водорастворимых форм углерода. При повышении влажности почв восстановительные условия содействуют формированию подвижных форм органического вещества и его миграции за пределы почвенного профиля. В теплые годы, с повышенной температурой и малым количеством осадков (1986, 1999, 1998, 1999, 2005, 2007 гг.), вследствие дефицита влаги происходит концентрирование в почве водорастворимых соединений.

Выявлено, что за время наблюдений были годы как с большим количеством осадков и низким температурным фоном, так и с жаркими и сухими условиями, что проявилось в общих чертах: повышение среднемноголетних температур воздуха более чем 1°С – особенно в зимний и осенний периоды, и понижение – в летнее время (июль). Установлено увеличение сумм осадков, особенно в весенне-летние периоды (Географические исследования Сибири, 2007). И, как результат, проявилась единая тенденция увеличения среднегодовой температуры и сумм осадков. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (2019), глобальное потепление уже достигло доиндустриального уровня и это служит причиной негативных последствий для экосистем и людей.

Министерство природных ресурсов и экологии России отмечает, что темпы глобального потепления в России выше, чем в среднем на планете. Так, за период с 1976 по 2017 гг. повышение среднегодовой температуры воздуха за десятилетие составило 0.4°С, тогда как в мире этот показатель составляет 0.18°С. Отмечен значительный рост выбросов парниковых газов, и что причиной потепления, с вероятностью, превышающей 95%, является антропогенное воздействие (Доклад об особенностях …, 2020).

На основании проведенных расчетов по данным, полученным на метеостанции «Шарыпово» установлено небольшое незначимое увеличение суммы осадков и среднегодовой температуры воздуха, что согласуется с прогнозами дальнейшего роста сумм осадков главным образом в холодный период.

А.А. Шпедт с соавторами (2019) выявил, что изменение климатических параметров в Красноярском крае происходит с большей скоростью, чем в среднем на территории России. Наиболее вероятный прогноз изменения климата до 2050 г. предполагает повсеместное потепление на 0.6-0.7°С и увеличение количества осадков на 30-50 мм/год. Предполагается, что в зимний период будет выпадать осадков на 4-6% больше, чем в настоящее время, особенно в Восточной Сибири (7-9%; Кочугова, 2018).

Физико-химическая характеристика территории исследования дана А.В. Мартыновым (Снытко и др., 1987) и представляет выровненный участок осоково-злаково-разнотравной луговой степи (участок «Отножка» точки III и IV). Физико-химические свойства изучаемых почв представлены в таблице 1.

Установлено, что с глубиной нейтральная реакция почвенной среды меняется на щелочную, почвенный поглощающий комплекс насыщен основаниями с преобладанием в его составе кальция, емкость поглощения снижается вниз по профилю с уменьшением органического вещества. Лугово-черноземная выщелоченная почва расположена на склоне восточной экспозиции (борт лога) – разнотравный закустаренный луг (участок «Отножка» точка V). Выявлена высокая емкость поглощения, сравнительно небольшая относительная плотность твердой фазы, большое количество органического вещества и значительно меньшее количество азота. В почвенном поглощающем комплексе присутствует большое количество магния, что свидетельствует об активном проявлении процессов глееобразования. Определено постоянное переувлажнение с глубины 70 см, в верхнем слое оно носит периодический характер. Лугово-болотная почва обладает высокой водоудерживающей способностью, органоминеральный горизонт ($A1_g$) содержит большое количество гумуса и обладает очень высокой емкостью поглощения.

В почвах участка «Отножка» направление геохимической миграции элементов определяется в основном рельефом местности – от положительных форм к днищу лога.

Сравнительный анализ запасов мобильного вещества в почвах сопряженного ряда фаций: «луг – залежь – склон – болото» (III – IV – V – VI) выявил тенденции изменения их количественных показателей. Для характеристики запасов продуктивной влаги в почве представляет интерес ее изучение, как в сопряженном ряду, так и во времени (табл. 2).

Запасы продуктивной влаги, выявленные А.В. Мартыновым (1987), превышают запасы, обнаруженные в 2010-2014 гг. В этот период гидротермические условия были очень неоднородные как с большим количеством осадков и низким температурным фоном, так и с жаркими и сухими условиями (рис. 2).

Таблица 1. Физико-химические свойства почв.

Почва	Горизонт	Глубина, см	Плотность почвы, г/см^3	pH	Содержание, %		C/N	Обменные основания, мг-экв./100 г			$CaCO_3$, %
					C	N		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Ca^{2+}+Mg^{2+}$	
Чернозем обыкновенный луговатый (III)*	A	0-26	0.95	7.0	7.44	1.21	6.3	41.6	8.0	49.6	–
	AB	26-33	0.97	7.1	1.85	0.28	6.6	31.2	5.6	36.8	–
	$B_к$	33-54	1.19	8.2	0.97	0.28	3.5	24.8	5.6	30.4	14.50
	$BC_к$	54-100	1.58	8.2	0.40	–	–	19.6	3.2	22.8	16.34
Антропогенная модификация III (IV)*	$A_{пах}$	0-16	1.09	7.0	6.33	0.99	6.4	33.2	13.2	36.4	–
	A	16-33	1.06	7.1	2.98	0.59	5.0	26.4	12.4	38.8	–
	AB	33-46	1.20	6.9	1.54	0.14	10.9	31.2	2.1	33.3	–
	$B_к$	46-70	1.50	8.2	–	–	–	19.6	2.8	22.4	11.53
	$BC_к$	70-100	1.58	8.2	–	–	–	20.0	3.1	23.1	12.60
Лугово-черноземная выщелоченная (V)*	$A_д$	0-15	0.64	6.3	12.26	0.30	40.9	38.0	13.6	51.6	–
	$A1^1$	15-38	0.67	6.1	10.25	0.30	34.2	41.6	21.2	62.8	–
	$A1^{11}$	38-71	0.77	5.7	6.22	0.51	12.2	30.8	4.0	34.8	–
	AB_g	71-98	–	6.7	2.35	0.33	7.1	27.2	14.0	41.2	–
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)*	$A_{д(т)}$	0-18	0.71	7.8	13.61	0.31	43.9	58.8	3.6	62.4	–
	$A1_g$	18-35	0.69	7.6	5.81	0.30	19.4	58.0	18.8	76.6	–
	AB_g	35-76	1.02	7.4	0.84	0.75	1.12	29.2	20.8	50.0	–
	B_g	76-100	–	7.3	2.30	0.65	3.4	28.8	8.8	37.6	–

Примечание к таблице 1: * – данные А.В. Мартынова (Снытко и др., 1987).

В формировании запасов почвенной влаги важная роль принадлежит местоположению. Лугово-черноземная выщелоченная почва (V) занимает подчиненное положение по отношению к черноземy обыкновенному луговатому (III), где привнос влаги сочетается с его выносом. При этом в слое 0-20 и 0-50 см, в сравнении с ранее проведенными исследованиями А.В. Мартынова, установлено уменьшение запасов влаги во всех типах почв, кроме лугово-болотной иловатой карбонатной (VI). Установлено, что диапазон колебаний запасов влаги в слое 0-20 см не изменился. Наиболее заметные изменения выявлены в слое 0-50 см в черноземе обыкновенном луговатом (III) и лугово-болотной иловатой карбонатной почве (VI) с увеличением амплитуды колебаний в 1.5 раза.

Отмечено, что в черноземе обыкновенном луговатом (III) запасы мобильного органического вещества, кальция и магния больше, чем в её антропогенной модификации – залежи (IV). Минимальные запасы водорастворимых щелочноземельных элементов выявлены в лугово-черноземной выщелоченной почве (V) подножия склона, что является результатом выноса этих элементов с водными потоками в нижележащую болотную фацию, где и происходит их накопление. Запасы органического вещества в основном сконцентрированы в корнеобитаемом слое 0-20 см, что обусловлено наличием здесь его источника и оптимальными гидротермическими условиями (разность температур почвы на глубине 5 и 20 см не превышает 5°C).

Исследования середины 80-х годов XX в. установили эту закономерность, а наши – подтвердили,

только на более высоком количественном уровне и с увеличением диапазона их колебаний. Увеличение запасов мобильных форм элементов и органического углерода в 2010-2014 гг., возможно, связано со снижением среднеиюльской температуры воздуха и увеличением осадков в данный период, а также с общей тенденцией увеличения среднегодовой температуры воздуха и сумм осадков.

Таблица 2. Запасы водорастворимых веществ и влаги в почвах.

Почва	Слой почвы, см	С органический, кг/га	С минеральный, кг/га	Ca, кг/га	Mg, кг/га	Влага, мм
III*	0-20	312-875 (563) 522	72-244 (172) 156	107-332 (225) 195	15-81 (66) 41	54-114 (60) 79
	0-50	348-1451 (1103) 984	253-570 (317) 375	323-568 (245) 437	75-159 (84) 100	110-196 (86) 158
IV*	0-20	83-625 (542) 368	48-186 (138) 103	76-235 (159) 144	12-43 (31) 35	61-143 (82) 94
	0-50	219-1517 (1298) 756	135-495 (360) 308	262-807 (545) 435	53-194 (141) 98	124-262 (138) 175
V*	0-20	165-373 (208) 236	26-420 (394) 108	58-172 (114) 97	12-55 (43) 27	45-107 (62) 73
	0-50	358-791 (433) 577	48-602 (554) 175	139-238 (99) 179	27-105 (78) 54	102-252 (150) 176
VI*	0-20	151-831 (680) 415	87-491 (404) 176	69-277 (208) 194	34-93 (59) 60	91-180 (89) 147
	0-50	232-1206 (974) 665	172-1077 (905) 359	130-594 (464) 360	72-307 (235) 152	214-442 (228) 328
III**	0-20	862-1867 (1005) 1283	56-208 (152) 94	122-371 (249) 281	18-95 (77) 41	44-102 (58) 54
	0-50	956-3405 (2449) 2174	180-532 (358) 355	256-621 (365) 786	81-203 (122) 146	86-198 (112) 117
IV**	0-20	941-2546 (1605) 1347	36-438 (396) 110	115-421 (306) 254	17-56 (39) 45	40-129 (89) 48
	0-50	1876-3328 (1452) 2540	91-568 (537) 196	298-976 (678) 491	48-206 (158) 98	103-235 (132) 119
V**	0-20	426-1245 (819) 991	31-154 (123) 49	105-312 (207) 171	25-96 (71) 48	30-98 (68) 45
	0-50	738-2342 (1611) 1973	39-296 (257) 99	208-398 (190) 355	152-198 (146) 92	68-229 (155) 124
VI**	0-20	541-1438 (897) 1040	91-628 (537) 111	82-486 (404) 354	62-186 (124) 130	84-175 (91) 110
	0-50	789-2931 (2142) 1938	190-1567 (1347) 251	199-867 (668) 637	131-502(371) 293	192-355 (163) 245

Примечания к таблице 2: III* – чернозем обыкновенный луговатый, IV* – антропогенная модификация, V* – лугово-черноземная выщелоченная, VI – лугово-болотная иловатая карбонатная (по данным А.В. Мартынова, значения за 1981-1984 гг. (Снытко и др., 1987)); III** – данные автора статьи, значения за 2010-2014 гг.; в числителе дан диапазон значений, в скобках – размах вариации, в знаменателе – среднее значение показателя.

Установлены коэффициенты парной корреляции мобильного органического углерода и отдельных параметров почвы, которые показали, что наибольшая зависимость мобильного

органического углерода обнаружена от температуры почвы (коэффициент корреляции – 0.4-0.6), а температура и влажность почвы имеют обратную зависимость – -0.4-0.7, т.е. чем выше температура почвы, тем ниже влажность, и, следовательно, больше содержание водорастворимых элементов и органического углерода.

Представляют интерес средние показатели запаса влаги за вегетационный период (табл. 3), которые показывают, что с момента первых наблюдений они уменьшились примерно на 30% во всех местоположениях.

Таблица 3. Запасы влаги в слое почвы 0-50 см разных местоположений.

Название почвы (индекс)	А*, т/га	Б**, т/га	А, т/га	Б, т/га
	Снытко и др. (1987)***		Собственные данные****	
Чернозем обыкновенный луговатый (III)	1580	32	1170	23
Антропогенная модификация (IV)	1750	35	1190	24
Лугово-черноземная выщелоченная (V)	1760	35	1240	25
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)	3280	66	2450	49

Примечания к таблице 3. Запасы влаги: А* – суммарные, Б* – средневзвешенные по глубине 0-50 см, *** – средние значения за 1981-1984 гг., ** – средние значения за 2010-2014 гг.

Соотношение температуры воздуха и почвы – одно из важных условий роста и развития растений. Для их нормального функционирования необходимо, чтобы корни находились в более прохладной среде, чем надземные органы. Когда корнеобитаемый слой теплее воздуха, нарушается обмен веществ, так как интенсивность дыхания становится выше, чем ассимиляция (Геосистемы …, 1991).

В лесостепной зоне большую часть вегетационного периода растительность функционирует при благоприятном для нее соотношении между температурой корнеобитаемого слоя почвы и приземного воздуха, когда температура почвы на глубине 15 см в июле ниже температуры воздуха на 6-8°С. На открытых участках (т. III – залежь) температура воздуха в июле примерно в 1.5 раза выше, чем в верхних слоях почвы – 25.8°С и 17°С соответственно. В июле корреляция между температурами приземной атмосферы и корнеобитаемого слоя почвы довольно тесная (табл. 4).

Составленная матрица взаимосвязей температур воздуха и корнеобитаемого слоя почвы на разных глубинах показала, что в слое почв 0-20 см зависимости различаются, но имеют тесные связи. Коэффициенты корреляции 0.90-0.97 поверхности почвы и температуры воздуха свидетельствуют о тесной связи компонентов, причем в лугово-болотной почве он более низкий – 0.90. В черноземе обыкновенном луговатом (III) коэффициенты корреляции выражают близкую связь с температурой воздуха – 0.68-0.78, а в антропогенной модификации (IV) – 0.67-0.83. В лугово-болотной иловатой карбонатной почве (VI) коэффициенты корреляции составляют от 0.51 – на глубине 5 см до 0.87 – на глубине 20 см. Растительный покров на лугу и болоте имеет сплошное проективное покрытие и большее разнообразие, тогда как залежь и склон – более разреженное, что и сказывается на температурах почвы.

В ходе наблюдений установлено, что в середине вегетационного сезона температурный режим в слое почв 0-20 см разных местоположений формируется однотипно (рис. 3).

Об это свидетельствуют сходные кривые температурного отклика на солнечную радиацию. Поскольку на поверхности почвы создаются различные термические условия (проективное покрытие растительности, влажность почвы), то и температурный режим различается. Наиболее высокие значения выявлены в антропогенной модификации IV (залежь), а низкие – VI (болото), что согласуется с количественными характеристиками влажности почвы: минимальные – антропогенная модификация IV (залежь), а максимальные – VI (болото).

Датчики температуры («Термохрон»), установленные «in situ» на выровненном участке луговой степи в черноземе обыкновенном луговатом (т. луг – III) и лугово-болотной иловатой карбонатной слоистой почве (т. болото – VI) на глубине 20 см показали, что температурные кривые имеют разную конфигурацию (рис. 4).

Таблица 4. Коэффициенты корреляции между температурой воздуха на высоте 1.5 м и температурой почвы на разной глубине.

Название почвы	Показатель		Температура воздуха (Тв)	Температура почвы (Тп) на разной глубине				
				Поверхность	5 см	10 см	15 см	20 см
Чернозем обыкновенный луговатый (III)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.96	1.00				
		5 см	0.73	0.79	1.00			
		10 см	0.68	0.79	0.71	1.00		
		15 см	0.78	0.82	0.91	0.80	1.00	
		20 см	0.77	0.80	0.95	0.59	0.93	1.00
Антропогенная модификация (IV)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.95	1.00				
		5 см	0.80	0.77	1.00			
		10 см	0.67	0.74	0.83	1.00		
		15 см	0.83	0.76	0.69	0.82	1.00	
		20 см	0.83	0.67	0.51	0.65	0.89	1.00
Лугово-черноземная выщелоченная (V)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.97	1.00				
		5 см	0.77	0.77	1.00			
		10 см	0.67	0.60	0.91	1.00		
		15 см	0.73	0.71	0.64	0.56	1.00	
		20 см	0.72	0.80	0.42	0.20	0.52	1.00
Лугово-болотная иловатая карбонатная (VI)	Тв		1.00					
	Тп на разной глубине	Поверхность	0.90	1.00				
		5 см	0.51	0.69	1.00			
		10 см	0.75	0.83	0.72	1.00		
		15 см	0.84	0.96	0.51	0.82	1.00	
		20 см	0.87	0.93	0.51	0.83	1.00	1.00

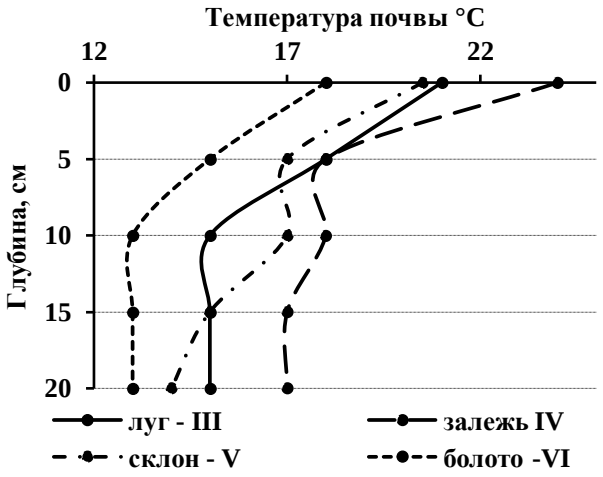

Рис. 3. Изменения температуры в почвенном профиле в сопряженном ряду: луг (III) – залежь (IV) – склон (V) – болото (VI).

Переход через ноль в черноземе обыкновенном луговатом (III) на глубине 20 см осуществляется в середине декабря (13.12), а весной – во второй декаде апреля (14.04). В лугово-болотной почве (VI) переход через ноль установлен в последней декаде февраля (26.02.2011) и в середине мая (13.05.2011). Период с отрицательными температурами в черноземе обыкновенном луговатом (III) длится с декабря по апрель (4 месяца), а в лугово-болотной почве (VI) с февраля до середины мая (3 месяца). Обнаружен сдвиг отрицательных температур примерно на 1.5-2 месяца. Согласно тем же измерениям, минимальные температуры в черноземе обыкновенном луговатом обнаружены в середине февраля (11-15 февраля), а в лугово-болотной – с февраля по май. В холодный период лугово-болотная почва промерзала

незначительно, низкие отрицательные температуры сохранялись длительное время уровне -0.5°С. Самая высокая температура обнаружена в июле в черноземе обыкновенном луговатом и лугово-болотной, причем значения были близкими – 14.4-14.5°С. Полученные данные согласуются с материалами других авторов (Дюкарев, 2012; Махатков, Ермолов, 2015; Коронатова, Миронычева-Токарева, 2019).

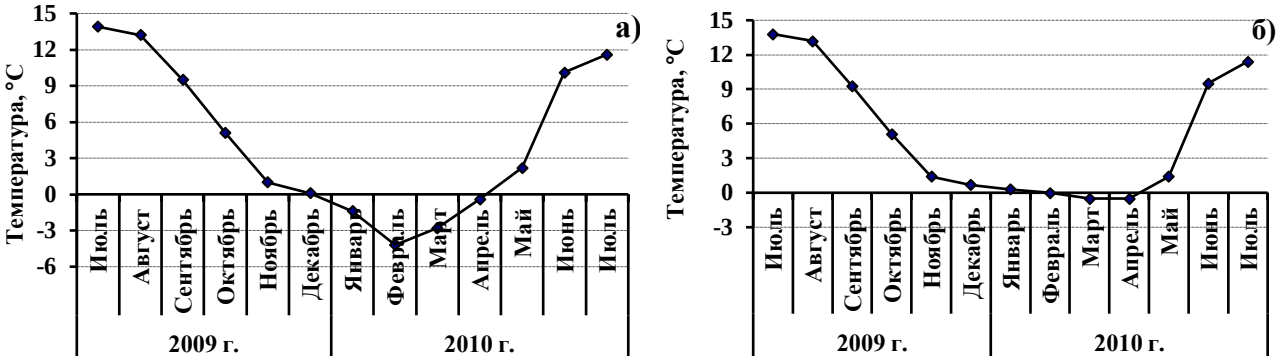

Рис. 4. Динамика температуры почвы в черноземе обыкновенном луговатом (а) и лугово-болотной почве (б) на глубине 20 см по данным измерителя температуры «ТЕРМОХРОН».

На основании полученных данных температурного режима чернозема обыкновенного луговатого и лугово-болотной почвы установлен различный ход температурных кривых: III – более крутая, VI – более пологая. Наибольшие различия выявлены в зимний период, а летом отличия менее заметны.

Выводы

При анализе выявленных изменений водорастворимых форм кальция, магния, углерода и гидротермического режима почв в сопряженном ряду: чернозем обыкновенный луговатый (луг) – антропогенная модификация (залежь) – лугово-черноземная выщелоченная (склон) – лугово-болотная карбонатная почва (болото) установлены направления изменения их количественных показателей.

Выявлено, что почвы, находящиеся в условно естественном и антропогенно измененном состоянии, обладают значительными временными колебаниями в содержании водорастворимых форм элементов и органического углерода. Направление миграции элементов определяется рельефом местности. Потоки вещества перемещаются от положительных форм рельефа к днищу лога.

Оценка взаимосвязей запасов водорастворимых форм и влаги установила отчетливую зависимость этих показателей от местоположения. Так, минимальные показатели водорастворимых органоминеральных компонентов были в лугово-черноземной выщелоченной почве (склоновое местоположение), вследствие выноса этих элементов с водными потоками в нижележащую болотную фацию, где и происходит их накопление. Эти тенденции были установлены в начале 80-х годов прошлого столетия А.В. Мартыновым и нашли свое подтверждение в исследованиях автора в 2003-2014 гг.

Выявлено, что температуры корнеобитаемого слоя зависят от множества факторов, в том числе от растительного покрова (проективное покрытие) и формы рельефа (крутизна склона). Установлено, что в середине вегетационного сезона температурный режим в слое почв 0-20 см разных местоположений формируется однотипно. Об это свидетельствуют сходные кривые температурного отклика на солнечную радиацию и достаточно высокие коэффициенты корреляции: температуры воздуха и поверхности почвы – 0.90-0.97 и температуры воздуха и почвы на глубине 20 см – 0.72-0.87.

Температурный режим в черноземе обыкновенном луговатом и лугово-болотной почве описывается разными кривыми, что было установлено по данным регистратора температуры «ТЕРМОХРОН». В черноземе обыкновенном луговатом температурная кривая более крутая и температуры промерзания более низкие, чем в лугово-болотной почве. Отрицательные температуры в почве точки VI показывают более поздний переход через ноль и более высокие значения температуры. Отрицательные температуры сохранялись в черноземе обыкновенном луговатом (III) в течение 4 месяцев, а в лугово-болотной почве (VI) – 3. Обнаружен сдвиг отрицательных температур

примерно на 1.5-2 месяца.

Приведенные данные показывают, что отмеченный незначительный и недостоверный рост среднегодовой температуры воздуха при достаточном количестве атмосферных осадков может вызывать изменения в запасах водорастворимых форм кальция, магния, органического и минерального углерода. Температуры корнеобитаемого слоя зависят от множества факторов, в том числе от растительного покрова и формы рельефа (крутизна склона). Слабый уклон и неудовлетворительные водно-физические свойства лугово-болотной почвы приводят к понижению температуры корнобитаемого слоя и переувлажнению профиля почвы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы Государственного задания ИГ СО РАН: (№ FWEM-2021-0002), номер госрегистрации темы: АААА-А21-121012190055-7 "Пространственно-временные закономерности вещественного состояния ландшафтов Сибири в изменяющихся условиях среды".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. М.: Издательство МГУ. 488 с.

Воробьева И.Б. 2020. Гидротермические условия природных и антропогенных измененных почв Назаровского лесостепи // Успехи современного естествознания. № 9. С. 33-39.

Географические исследования Сибири. Ландшафтные процессы. 2007. Т. 2. Новосибирск: ГЕО. 315 с.

Геосистемы контакта тайги и степи: Юг Центральной Сибири. 1991. Новосибирск: Наука. 217 с.

Горбачев В.Н. 2014. Проблема взаимосвязи почв и экологических факторов почвообразования // Ульяновский медико-биологический журнал. № 2. С. 107-117.

Доклад о состоянии и использовании земель Красноярского края за 2018 год. 2019. Красноярск. 129 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. 2020 // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М. 97 с.

Дюкарев Е.А. 2012. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы // Вестник Томского государственного университета. № 365. С. 201-205.

Коронатова Н.Г., Миронычева-Токарева Н.П. 2019. Температурный режим торфяных олиготрофных почв лесостепи Западной Сибири (на примере Николаевского ряма) // Вестник Томского государственного университета. Биология. № 45. С. 190-209.

Кочугова Е.А. 2018. Климатические изменения режима увлажнения Иркутской области в зимний период // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». Т. 25. С. 107-120.

Мартынов А.В. 1983. Почвенно-геохимические показатели динамики вещества в естественных и измененных геосистемах // Динамика вещества в геосистемах. Иркутск. С.17-27.

Махатков И.Д., Ермолов Ю.В. 2015. Температурный режим деятельного слоя верхового болота Северной тайги // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 11. Ч. 3. С. 400-407.

Межправительсвенная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Пресс-релиз МГЭИК, 25 сентября 2019 г. 2019. [Электронный ресурс https://www.ipcc.ch/report/srocc (дата обращения 10.02. 2021)].

Общая информация о Красноярском крае. 2013 [Электронный ресурс https://www.krsk.kp.ru/daily/26168/3054957/https://www.krsk.kp.ru/daily/26168/3054957 (дата обращения 05.10.2021)].

Природа и хозяйство района первоочередного формирования КАТЭКа. 1983. Новосибирск: Наука. 258 с.

Снытко В.А., Семенов Ю.М., Мартынов А.В. 1987. Ландшафтно-геохимический анализ геосистем КАТЭКа. Новосибирск: Наука. 108 с.

Что такое климатическая норма? 2016 [Электронный ресурс https://primpogoda.ru/articles/prosto_o_pogode/chto_takoe_klimaticheskaya_norma (дата обращения 14.10.2021)].

Vorobyeva I.B. 2013. Features of hydrothermal conditions and organic matter of soils in island forest steppe (Nazarovskaya depression) // Arid ecosystems. Vol. 3. No. 2. P. 77-84. [*Воробьева И.Б.* 2013. Особенности гидротермических условий и органическое вещество почв островной лесостепи (Назаровская котловина) // Аридные экосистемы. Т. 19. № 2 (55). С. 29-38.]