

И. Б. ВОРОБЬЁВА*, **, **Н. В. ВЛАСОВА***, **М. С. ЯНЧУК***

*Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия, irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru, m_s_yanchuk@mail.ru

**Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, irene@irigs.irk.ru

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОСИСТЕМ ЮГО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ БАЙКАЛА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Представлены результаты исследований компонентов геосистем, таких как почва и растительность, и их отклика на изменения климата на юго-западном побережье Байкала (пос. Листвянка и прилегающие территории), наиболее освоенной части центральной экологической зоны. Дана характеристика почв населенного пункта и его окружения, исследована взаимосвязь почва–растение, выявлен отклик почвы на изменения температуры. В результате применения комплекса методов (стандартных и современных) получены новые сведения о компонентах геосистем юго-западного побережья Байкала в условиях современных изменений климата. Установлено, что в настоящее время территория поселка и его окружение испытывают сильное антропогенное воздействие, что проявляется в изменении внутренних связей природных комплексов и, как следствие, в трансформации доминирующих горно-таежных устойчивых геосистем. Обнаруженные высокие концентрации микроэлементов в почве приурочены к придорожным экосистемам и селитебной зоне. Выявлено, что концентрации Ba, Mn, Cu, V и Cr в тканях изучаемых растений достаточно высокие. Злаки отличаются наименьшим числом элементов (Mn, Cu и V), которые имеют максимально высокие значения. Коэффициент биологического поглощения выше 1 отмечен у Ba, Mn и Cu. Определено, что аномальные температуры воздуха в 2014–2015 гг. отразились на температуре почвы, сумме активных температур и амплитуде между зимними и летними температурами на глубине 20 см на склонах разной экспозиции. Обнаружено, что склон северо-восточной экспозиции более холодный, прогревается весной позже и имеет более продолжительный период отрицательных температур. Выявлено, что климатические аномалии последних лет выразились в повышении зимних температур почвы и продлении летних максимумов, что нашло отражение в увеличении времени вегетационного периода, скорости и продолжительности ледостава на Байкале.

Ключевые слова: геосистема, почва, коэффициент биологического поглощения, температура почвы, изменения климата.

I. B. VOROBYEVA*, **, **N. V. VLASOVA***, **AND M. S. YANCHUK***

*V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, 664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str., 1, Russia, irene@irigs.irk.ru, vlasova@irigs.irk.ru, m_s_yanchuk@mail.ru

**Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, irene@irigs.irk.ru

AN ECOLOGICAL-GEOCHEMICAL CHARACTERISTIC OF GEOSYSTEMS OF BAIKAL'S NORTHWESTERN SHORES UNDER CLIMATE CHANGE

Presented are the results from investigating the components of geosystems, such as the soil and vegetation, and their response to changes of climate on the southwestern shores of Baikal (settlement of Listvyanka and adjoining territories), the most well-developed part of the central ecological zone. A characteristic of the soils of this settlement and its surroundings is provided, the soil–plant relationship is investigated, and the response of the soil to temperature changes is revealed. As a result of using a set of methods (standard and contemporary), we obtained new evidence concerning the components of geosystems for the southwestern shores of Baikal under current climate change. It is found that the territory of the settlement and its surroundings are experiencing a strong anthropogenic impact, which manifests itself in a change in the internal connections of natural complexes and, as a consequence, in a transformation of the dominant stable mountain-taiga geosystems. The detected high concentrations of trace elements in the soil tend to occur in roadside ecosystems and the residential zone. It is revealed that the concentrations of the trace elements Ba, Mn, Cu, V and Cr in tissues of the plants used in the study are relatively high. Grasses are distinguished by the smallest number of elements (Mn, Cu and V) which have maximally high values. The coefficient of biological absorption higher than 1 was observed in Ba, Mn and Cu. It is determined that the anomalous air temperatures in 2014–2015 had influence on soil temperature, cumulative active temperatures, and on the amplitude between winter and summer temperatures at a depth of 20 cm on different-aspect slopes. It is found that the northeastern slope is colder, is warmed at a later date in the springtime and has a longer period of subzero temperatures. It is revealed that the climatic anomalies in recent years implied a rise in winter temperatures of the soil, and an extension of the summer maxima, which was reflected in an increase of the time of the growing period, and the rate and length of ice setting on Baikal.

Keywords: geosystem, soil, coefficient of biological absorption, soil temperature, changes of climate.

ВВЕДЕНИЕ

Эколого-геохимические исследования Байкальской природной территории (БПТ) становятся все более актуальными в связи с усилением процессов урбанизации, рекреационным освоением и активизацией антропогенных изменений всех компонентов геосистем, особенно его прибрежной части, и их откликом на изменения климата. С учетом особого статуса самого озера и его ближайшего природного окружения использование территории основывается на законодательных актах по рациональному природопользованию и охране среды, которые предусматривают повышение эффективности природоохранной деятельности и комплексное решение экологических задач.

Согласно схеме природного зонирования БПТ, оз. Байкал входит в центральную экологическую зону, в пределах которой нагрузки на природную среду регулируются в соответствии с требованиями сохранения и улучшения экологической ситуации [1]. В эколого-геохимических исследованиях наиболее освоенной юго-западной части центральной экологической зоны учитывались природные особенности геосистем и их отклик на изменения климата.

К настоящему времени накоплен большой фактический материал по изучению гидрохимических характеристик поверхностных и подземных вод прибрежной территории [2–5], однако покомпонентных исследований геосистем недостаточно.

Метеорологические наблюдения свидетельствуют, что за последние 100 лет средняя температура поверхности Земли выросла на 0,74 °С, причем темпы роста постепенно увеличиваются. По прогнозам Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в ближайшие 20 лет рост температуры составит в среднем 0,2 °С за десятилетие, а к концу XXI в. температура Земли может повыситься на величину от 1,8 до 4,6 °С. По данным наблюдений российских метеостанций, среднегодовая температура воздуха в России увеличилась за последние 100 лет на 1 °С (что значительно выше, чем в среднем по миру), из них 0,4 °С — только за последнее десятилетие XX в. К 2015 г. температура воздуха в нашей стране выросла на $0,6 \pm 0,2$ °С по сравнению с уровнем 2000 г. Это свидетельствует о том, что уже к середине XXI в. в России потеплеет почти на 2 °С. Рост среднегодовой температуры воздуха происходит во всех регионах страны, однако из-за большой протяженности территории России и разнообразия ее природных условий климатические изменения проявляются неравномерно по различным регионам и сезонам. Потепление сильнее выражено зимой и весной. При этом в большей степени оно проявляется в европейской части России и в Восточной Сибири [6].

Согласно докладу Росгидромета, 2014 г. для Земли стал самым теплым за сто с лишним лет. В России температурные рекорды были зафиксированы в весенний период (на территории всей страны), но особенно теплой была зима в Восточной Сибири. По всей России продолжается тенденция к росту температуры — в целом за год и за все сезоны [7]. В пределах БПТ также регистрируют отклонения от климатических норм температуры воздуха.

Цель данного исследования — выявить и охарактеризовать особенности современного состояния почв, пути миграции в системе почва–растительность на юго-западном побережье Байкала (пос. Листвянка и прилегающие территории) и их реакцию на антропогенные воздействия и изменения климата.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Озеро Байкал с окружающим его горным обрамлением и межгорными котловинами образует особую физико-географическую область. В современной системе ландшафтно-экологического районирования Российской Федерации исследуемая территория входит в Предсаянскую провинцию подтаежной зоны Среднесибирского сектора [8]. Согласно детальной схеме физико-географического районирования, составленной В. С. Михеевым [9], она относится к Приморскому эрозионно-денудационному среднегорному таежному топорайону Приморско-Онотского горно-таежного и подтаежного округа Прибайкальской гольцово-горно-таежной и котловинной провинции Байкало-Джугджурской горно-таежной физико-географической области. Основной фон ландшафтной структуры этой территории создают геосистемы светлохвойных лесов [10], принадлежащие, в соответствии с классификацией В. Б. Сочавы, таежному горному геому оптимального развития и подтаежному светлохвойному [11, 12].

Приморский район простирается от истока р. Ангары вдоль Приморского хребта до долины р. Большая Бугульдейка. Приморский хребет состоит из куполовидных и плосковершинных гольцов. Здесь господствует горно-таежный ландшафт в сочетании с незначительными по площади лугово-степными комплексами. Хребет окаймляет все побережье, примыкая к берегу озера и образуя часто крутые, скалистые и высокие обрывы, резко выступающие в озеро мысы [13].

Климатические условия территории исследования характеризуются средней июльской температурой в пределах 13,5–15,5 °С (максимальная 31–32 °С) и средней январской температурой –16 ÷ –18,5 °С (минимальная –40 ÷ –44 °С). Количество осадков в пределах 310–433 мм.

Уникальная природа Байкала привлекает с каждым годом все большее число туристов, что увеличивает рекреационную нагрузку на природные комплексы. Техногенное воздействие приводит к изменению не только внешнего вида, но и внутренних связей геосистем с увеличением или уменьшением миграционных способностей их компонентов. Почва является перекрестком миграционных путей внутри геосистемы, и эти процессы хорошо прослеживаются на ее уровне. Для характеристики почвенного покрова были выбраны репрезентативные точки на территории пос. Листвянка и в его окрестностях (рис. 1).

Объектом исследований послужил почвенный и растительный покров поселка и прилегающих территорий. Образцы почвы и растительности отбирались и анализировались по общепринятым методикам [14] с привлечением комплексной эколого-геохимической оценки техногенного загрязнения окружающей среды [15]. Определение химических элементов осуществлялось на оптическом эмиссионном спектрометре Optima 2000DV с индукционной плазмой и компьютерным управлением (фирма Perkin Elmer LLC, США), валовое содержание микроэлементов — на спектрографах ДФС-80 и ИСП-30.

Для регистрации температуры почвы во времени (в течение двух лет) на глубине 20 см были заложены измерители температуры «Термохрон». Регистрация температурных значений проводилась через равные заданные промежутки времени (частота измерений 3 ч, погрешность ±0,5 °С, получено около 3100 измерений в год). В дальнейшем проведен пересчет и получены среднесуточные и среднемесячные данные температуры.

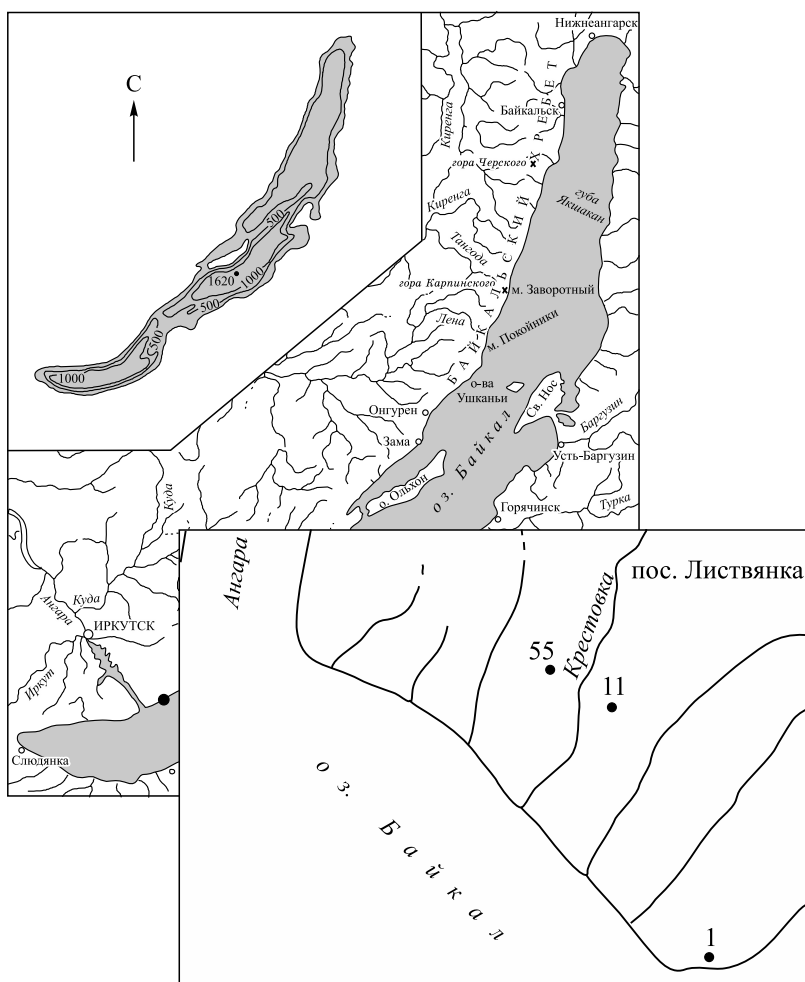


Рис. 1. Схема расположения репрезентативных точек на территории исследования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводились на склонах Приморского хребта. В лиственничных, сосновых кустарничково-моховых лесах господствуют горные подзолистые и таежные литогенные почвы. Водоразделы и верхние части склонов представлены сосновыми кустарничково-травяными лесами, под пологом которых развиваются дерново-подзолистые, а на нижних частях — дерновые лесные почвы. На конусах выноса, озерных и речных отложениях встречаются сосновые кустарничковые и разнотравно-остепненные леса [16].

Вдоль береговой линии на крутых склонах широко распространены остепненные ландшафты разнотравно-злаковые в окружении сосновых злаково-разнотравных лесов. Высокая степень инсоляции и прогреваемости склонов способствует оглиниванию профиля и увеличению интенсивности гумусообразования — здесь развиваются серые метаморфические почвы. Почвы имеют слабокислую реакцию среды в гумусовых горизонтах, с уменьшением рН в средней части профиля из-за слабых процессов элювиирования (табл. 1).

На вершинах водораздельных поверхностей под сосново-лиственничными кустарничковыми разнотравными лесами развиваются ржавоземы потечно-гумусовые, имеющие слабо дифференцированный профиль ржаво-охристого цвета, с очень высокой кислотностью среды, постепенно снижающейся вниз по профилю. Почвы характеризуются невысокой биологической активностью, что приводит к накоплению мощного грубогумусового слаборазложившегося горизонта с высоким содержанием гумуса. Здесь интенсивно идут процессы оглинивания и ожелезнения. В средних частях склонов южных экспозиций под березово-сосновыми лесами с богатым злаково-разнотравным травянистым покровом формируются подбуры, для которых характерны следы элювиирования и иллювиирования гумуса вследствие альфегумусового процесса в сильнокислой среде, равномерно распределенной по профилю. Подбурам также свойственно накопление слаборазложившегося органического материала — лесной подстилки. В нижних пологих и наиболее увлажненных местообитаниях, под кедрово-березовыми лесами с богатым бобово-злаковым разнотравьем, развиваются буроземы, формирующиеся на делювиальных отложениях кислых протерозойских гнейсов и сланцев [17].

Таблица 1

Физико-химические свойства почв

Точка	Горизонт	Глубина, см	рН _{водн.}	рН _{КС1}	Содержание, %			С/Н	Обменные основания, мг-экв/100 г почвы		
					гумус	С	Н		Ca	Mg	Al
Т. 1	A _d	0–10	5,54	5,15	5,86	3,40	0,32	10,63	12,8	8,9	<0,001
	A _{em}	10–20	5,95	4,30	4,09	2,37	0,19	12,47	14,4	8,9	<0,001
	B _{em}	20–35	5,05	4,35	1,63	0,95	0,07	13,57	14,0	9,5	0,003
	B _m	35–65	5,15	4,90	0,80	0,47	0,04	11,75	13,0	10,6	0,001
	BC _m	65–90	6,36	4,60	0,80	0,47	—	—	—	—	—
Т. 17	A _d	0–15	5,20	4,70	6,90	4,00	0,31	12,90	7,0	5,4	0,059
	B _{fm}	15–30	5,19	4,01	1,45	0,84	—	—	—	—	—
	B _m	30–45	5,13	4,35	0,86	0,50	0,04	12,50	6,1	5,7	0,352
	C _m	69–80	5,45	5,42	0,44	0,26	0,02	13,00	6,8	7,1	0,032
Т. 6	A _d	2–10	5,31	4,39	11,41	6,62	0,48	13,79	8,8	5,9	0,046
	B _{fm}	10–18	5,20	3,85	4,30	2,50	0,09	27,78	3,2	2,8	1,334
	B _m	18–28	5,11	3,81	1,63	0,95	0,05	19,00	3,1	2,9	1,004
	C _m	28–50	4,50	3,92	1,45	0,84	0,04	21,00	3,8	2,9	0,875
Т. 55	A	1–8	5,32	4,36	14,80	8,58	0,58	14,79	—	—	—
	AE	8–15	5,27	3,78	3,93	2,28	0,15	15,20	4,7	3,4	1,214
	B _{tm}	15–25	4,47	3,79	1,63	0,95	0,08	11,88	—	—	—
	BC _m	25–35	4,21	3,78	1,22	0,71	0,06	11,83	5,3	3,8	0,668
Т. 15	A _d	3–12	5,60	5,35	15,42	8,94	0,55	16,26	—	—	—
	AE	12–32	4,70	4,20	8,28	4,80	0,36	13,33	9,8	4,0	0,876
	B _{mt}	32–45	4,69	4,40	1,58	0,92	0,05	18,40	7,5	2,3	0,716
	B _{ci}	45–60	4,34	3,80	1,05	0,61	0,04	15,25	10,4	3,8	0,405
	C	60–110	4,31	3,46	1,24	0,72	0,04	18,00	—	—	—

Примечание. Прочерк — отсутствие данных.

В условиях высокой инсоляции и хорошего прогревания поверхности достаточно интенсивно идут процессы оглинивания профиля, на которые, вследствие значительной скелетности почв, могут накладываться процессы лессиважа. Для буроземов характерно большое количество гумуса и снижение его с глубиной, обогащенность азотом высокая и средняя. В нижних частях макросклонов южной экспозиции в лугово-лесных формациях повышенных участков падей и распадков формируются черноземовидные гидротематоморфизованные квазиглееватые почвы с относительно пониженным содержанием углерода. Это слабокислые почвы с незначительным повышением рН в середине иллювиальной оглеенной толщи. На фоне выноса и выщелачивания обменных катионов почва испытывает криогенные деформации вследствие элювиального положения по отношению к пониженным элементам рельефа.

Сильное антропогенное воздействие (автотранспорт, изъятие территории под строительство, огоры, дороги) на почвенный покров и растительность вызывает изменения в их структуре. Техногенное вещество, поступающее на поверхность почв, включается в радиальные и латеральные миграционные потоки. В результате латеральной миграции геохимически подчиненные геосистемы имеют более высокую концентрацию техногенных элементов в почвах, растениях и водах [18, 19].

Почвы Прибайкалья, как и большинство урбанизированных почв, обогащены свинцом, особенно верхние горизонты (от 1 до 6 ПДК). Содержание никеля в исследуемых почвах колеблется от 19,8 до 156,5 мг/кг (от 5 до 38 ПДК), содержание кобальта — от 5,3 до 30,1 мг/кг (от 1 до 6 ПДК). По нашим данным, максимальное значение хрома достигает 243,3 мг/кг, что находится в пределах кларка (среднее содержание химического элемента в почве), а подвижные соединения Cr — от 8 до 40 ПДК. Содержание меди, накапливающейся в почвах транспортных и селитебных зон, колеблется в широких пределах в пространстве и в большинстве случаев превышает фоновые значения и кларк. Концентрации стронция в поверхностном слое почвы не превышают фоновый уровень и находятся в пределах кларка. Уровень содержания бария варьирует от следовых количеств до превышения кларка в 2,5 раза. Количество ванадия во всех функциональных зонах поселка превосходит фоновое значение, но ниже кларка, хотя и в пределах ПДК. Содержание марганца выявлено в пределах кларка, но меньше ПДК. Анализ полученных данных показал, что в поверхностном слое почвы концентрация микроэлементов выше ПДК: Pb — в 6 раз; Ni — в 39; Co — в 6; Cu — в 35 и Cr — в 81 раз. Самые высокие концентрации микроэлементов приурочены к придорожным экосистемам и селитебной зоне [20].

Согласно данным В. И. Гребеншиковой с соавторами [21], в региональном фоне выявлено повышенное содержание меди и марганца, а концентрация никеля, кобальта и ванадия на уровне кларка. Содержание бария, стронция и титана значительно ниже кларка [21].

В наших исследованиях взаимосвязь почва–растение рассматривается как система, объединенная потоком химических элементов, которая четко характеризует состояние окружающей среды. Для выявления содержания элементов в растительном покрове на территории поселка и вдоль береговой линии были отобраны образцы наиболее часто встречаемых видов растений: лапчатки, клевера, тысячелистника, лопуха, а также разнотравья, злаков. При сравнении с примерными концентрациями микроэлементов в тканях листьев растений исследуемые образцы показали, что для разнотравья типично достаточно высокое содержание Ba, Mn, Cu, V и Cr, в то время как коэффициент биологического поглощения (Кб) выше 1 отмечается у Ba и Cu (табл. 2). Злаковые отличаются наименьшим числом элементов (Mn, Cu и V), которые имеют максимально высокие значения [22].

Известно, что температура — один из важнейших экологических факторов. Температура воздуха и почвы оказывает влияние на рост растений, скорость химических реакций. Например, при увеличении температуры на 10 °С скорость удваивается или утраивается.

Климат котловины Байкала формируется в условиях континентального воздуха умеренных широт. Огромная водная масса озера, участвуя в теплообмене с окружающей сушей, значительно влияет на

Таблица 2

Ряды элементов по величине коэффициентов биологического поглощения (Кб) некоторых видов травянистого покрова

Объект	Химические элементы по величине Кб
Клевер луговой	$Ca_{4,98} > Sr_{1,77} > Cu_{1,76} > Co_{0,46} > Ba_{0,29} > Ni_{0,22} > Ti_{0,18} = Pb_{0,18} > Cr_{0,15} > V_{0,13} > Fe_{0,08} > Mn_{0,04}$
Лапчатка	$Ca_{4,69} > Cu_{2,0} > Sr_{1,98} > Ba_{1,79} > Pb_{0,59} > Co_{0,54} > Ni_{0,48} > Ti_{0,35} > Cr_{0,28} > Fe_{0,22} > V_{0,21} > Mn_{0,11}$
Тысячелистник	$Ca_{3,74} > Cu_{2,07} > Sr_{0,99} > Ba_{0,43} > Co_{0,39} > Ni_{0,27} > Pb_{0,19} > Cr_{0,16} > Ti_{0,15} > V_{0,12} > Fe_{0,09} > Mn_{0,06}$
Лопух	$Ca_{4,04} > Cu_{1,27} > Sr_{0,97} > Co_{0,46} > Ba_{0,29} > Ti_{0,2} > Pb_{0,19} > Cr_{0,15} > V_{0,13} > Ni_{0,12} > Fe_{0,07} > Mn_{0,04}$

климат, прежде всего на термический режим. Влияние термической инерции водных масс озера, оказывающих зимой обогревающее, а летом охлаждающее воздействие на климат прибрежных участков суши, приводит к уменьшению годовых амплитуд в котловине Байкала [23].

Склоны Приморского хребта, обращенные к Байкалу, имеют крутизну до 45° и пересекают пади Сенная, Банная, Крестовая, Малая и Большая Черемшанка, по днищу которых протекают ручьи и речки.

Установлено, что особенности гидротермического режима на склонах разной экспозиции и крутизны сказываются на характере растительности и почв. При этом определяющими являются закономерности распределения солнечной радиации в зависимости от крутизны склона и экспозиции. Северные склоны во все сезоны года и на всех широтах Северного полушария получают минимальное количество радиации. Крутые склоны любой ориентировки менее благоприятны, чем пологие. Данные разных авторов свидетельствуют, что наибольшие различия температур на отдельных склонах наблюдаются летом. Самое холодное направление — северное. С января по март температурный оптимум наблюдается на юго-западе, затем быстро смещается на юго-восток. В течение лета и осени происходит обратный переход на юго-запад. Температура почвы зависит не только от интенсивности солнечной радиации, но и от ее состояния, особенно если отмечаются колебания влажности. Максимум обычно находится не на юге, а несколько смещен к юго-западу, так как утренние лучи падают на увлажненную почву и большая часть получаемой солнечной энергии идет на испарение и высушивание и только потом на повышение температуры [24].

Датчики температуры «Термохрон» были установлены на глубине 20 см в средней части склона северной экспозиции в условиях сосновой разнотравно-злаковой остепненной фации с дерновой степной выщелоченной глинистой почвой на берегу Байкала (т. 1, см. рис. 1). В пади Крестовой — в средней части склона юго-западной экспозиции в березово-сосновой с брусничником разнотравно-злаковой фации с подлеском из ольхи с серой лесной глинистой почвой (т. 55). На противоположном склоне пади северо-восточной экспозиции — в сосново-березовой злаковой брусничной бадановой фации с подлеском из ольхи в бурой лесной ожелезненной почве (т. 11). Датчики регистрировали температуру почвы в течение двух лет с октября 2013 по октябрь 2015 г.

По данным Росгидромета, 2014 и 2015 гг. были самыми теплыми за историю метеонаблюдений в России с 1936 г. Теплая зима 2014–2015 гг. сказалась на ледоставе Байкала. Лед встал в северной и средней котловинах Байкала, в южной котловине «открытая вода» была зафиксирована авторами 28 февраля 2015 г. Аномальные температуры воздуха отразились на температуре почвы, сумме активных температур и амплитуде между зимними и летними температурами на глубине 20 см.

Измерения температуры на склоне северной экспозиции (берег Байкала, т. 1) на глубине 20 см с октября 2013 по октябрь 2015 г. с использованием датчиков «Термохрон» показали, что температурная кривая почвы повторяет ход температуры воздуха, но со сдвигом на месяц, что является следствием инерционных свойств почвы (рис. 2, а). По данным ближайших метеостанций, самым холодным месяцем был январь. Минимальные температуры почвы выявлены в феврале, а максимальные — в 2014 г. в июле, в 2015 г. в августе. На глубине 20 см средние месячные значения температуры с ноября по март отрицательные, а с апреля по ноябрь — положительные. Переход через ноль отмечался в одно и то же время: осенью — в ноябре, весной — в последней декаде марта.

В пади Крестовой на склоне юго-западной экспозиции (т. 55) на глубине 20 см минимальные температуры были зафиксированы в феврале, а максимальные — в августе (см. рис. 2, б). Переход через ноль осенью в 2013 г. выявлен в последней декаде ноября (26 ноября), а в 2014 г. — в середине месяца, на десять дней раньше (15 ноября). Весной переход через ноль в 2014 г. происходил в начале апреля (1 апреля), в 2015 г. — также в апреле, но в последней декаде (26 апреля).

На склоне северо-восточной экспозиции (т. 11) на глубине 20 см минимальные температуры были зафиксированы в феврале, а максимальные — в августе (2014 г.) и в августе–сентябре (2015 г.) (см. рис. 2, в). Переход через ноль осенью 2013 г. выявлен в последней декаде ноября (28 ноября), а в 2014 г. — в середине месяца (12 ноября). Весной переход через ноль обнаружен в 2014 г. во второй половине мая (20 мая), в 2015 г. — в первой декаде мая (8 мая).

На годовой ход температур в почве большое влияние оказывают растительный покров, высота снежного покрова, рельеф, хозяйственная деятельность. Для оценки теплообеспеченности почв и характеристики теплового режима используются: сумма активных температур (более 10 °С) в почве на глубине 20 см, сумма отрицательных температур на глубине 20 см, средний из абсолютных минимумов температур на поверхности почвы, амплитуда между зимними и летними температурами на глубине 20 см и другие показатели [25, 26]. Сумма активных температур почвы (больше 10 °С) на

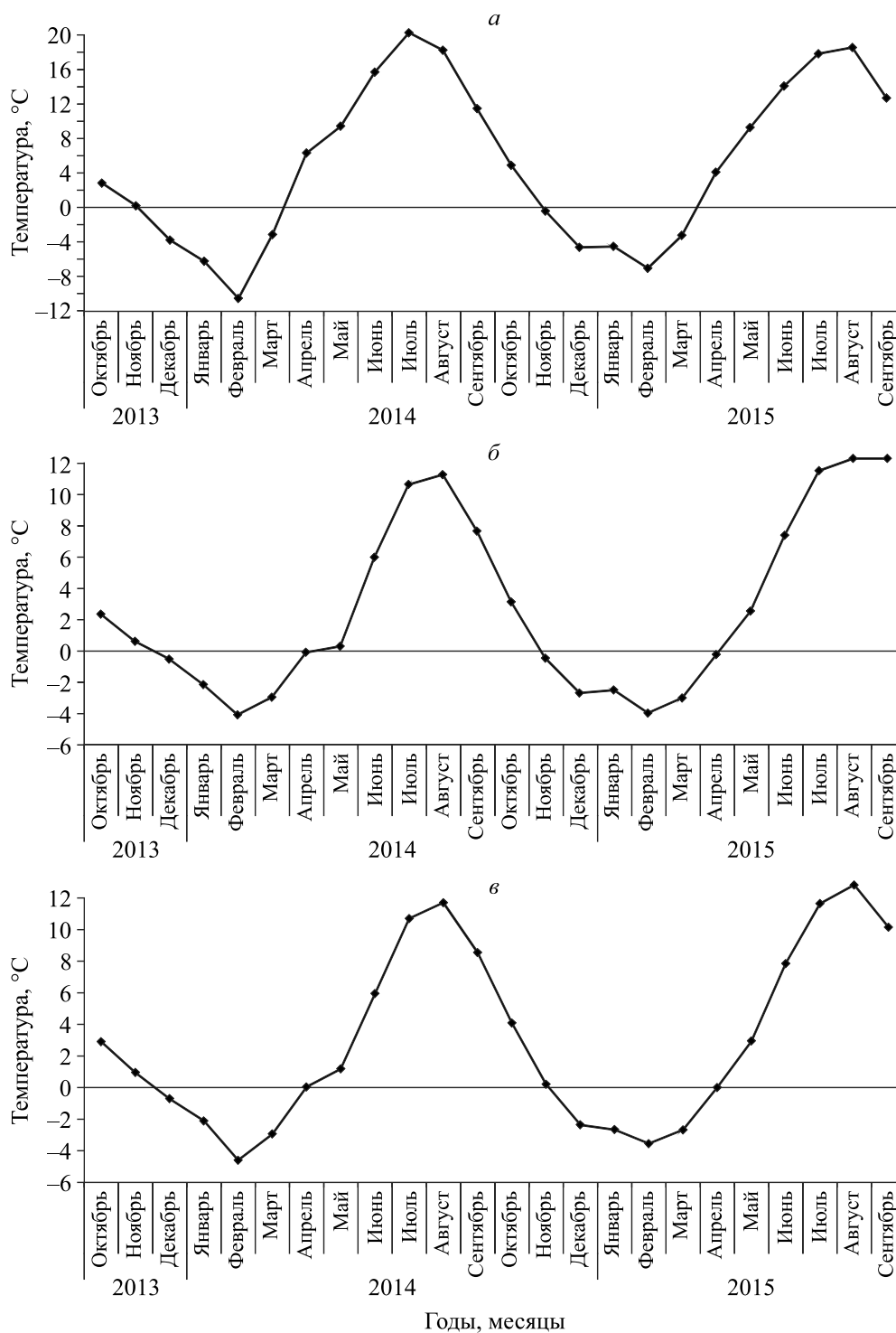


Рис. 2. Изменения температуры почвы на глубине 20 см на склонах разной экспозиции.

а — берег оз. Байкал, северная экспозиция, т. 1; *б* — падь Крестовая, юго-западная экспозиция, т. 55; *в* — падь Крестовая, северо-восточная экспозиция, т. 11.

глубине 20 см имеет одинаковые значения на склонах разной экспозиции в пади Крестовой (табл. 3). В соответствии с «Классификацией и диагностикой почв СССР» [27], по термическому режиму дерновая степная выщелоченная оглиненная почва на склоне северной экспозиции (т. 1) характеризует-

Сумма активных температур

Местоположение	Почва	Год	Сумма температур почвы выше 10 °С на глубине 0,2 м	Продолжительность периода отрицательных температур почвы на глубине 0,2 м (кол-во месяцев)
Берег оз. Байкал, северная экспозиция, т. 1	Дерновая степная выщелоченная оглиненная	2014	2100	5
		2015	1900	5
Падь Крестовая, юго-западная экспозиция, т. 55	Серая лесная оглиненная	2014	700	4
		2015	1100	4
Падь Крестовая, северо-восточная экспозиция, т. 11	Бурая лесная ожелезненная	2014	700	6
		2015	1100	6

ся как умеренная длительно промерзающая, тогда как почвы, расположенные на склонах разной экспозиции в пади Крестовой, относятся к разным подтипам: серая лесная оглиненная на склоне юго-западной экспозиции (т. 55) — к холодной промерзающей, а бурая лесная ожелезненная на склоне северо-восточной экспозиции (т. 11) — к холодной длительно промерзающей.

Сравнение хода температурных кривых на склонах различной экспозиции показало, что склон северо-восточной экспозиции более холодный, прогревается весной позже и имеет более продолжительный период отрицательных температур.

ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментальных исследований природной среды пос. Листвянка и прилегающих территорий получены данные, характеризующие состояние почвенного покрова, миграционные потоки в системе почва—растение и реакцию почвы на изменения климата. Установлено, что современные геосистемы самого поселка и его окружения испытывают сильное антропогенное воздействие. В естественных условиях происходит изменение внутренних связей между компонентами природного комплекса, которое приводит к трансформации господствующих устойчивых геосистем.

Почвенный покров испытывает негативное воздействие от усиления процессов урбанизации, развития туризма и рекреационной активности в регионе, что приводит к его деградации. Содержание микроэлементов в почвенном покрове свидетельствуют о тенденции к накоплению в верхних слоях почвы. Самые высокие концентрации микроэлементов (Pb, Ni, Co, Cu, Cr) приурочены к придорожным экосистемам и селитебной зоне. Растительный покров имеет четкое распределение по видам, и общими для всех видов являются повышенные концентрации Ba, Mn, Cu, V, Cr.

При сравнении хода температурных кривых на склонах различной экспозиции установлено, что склон северо-восточной экспозиции более холодный, прогревается весной позже и имеет более продолжительный период отрицательных температур.

Климатические аномалии последних лет нашли свое отражение в изменениях температурного режима почв: повышении зимних температур почвы, продлении летних максимумов, что сказывается на увеличении вегетационного периода, скорости и продолжительности ледостава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипов А. Н., Плюснин В. М. Экологическое зонирование Байкальской природной территории // Мир Байкала. — 2006. — № 8. — С. 7–9.
2. Напрасникова Е. В., Воробьева И. Б., Власова Н. В., Захарова Ю. Р. Санитарно-экологическая оценка воды колодцев на побережье Байкала (пос. Листвянка) // Сиб. мед. журн. — 2007. — Т. 75, № 8. — С. 63–65.
3. Воробьева И. Б., Напрасникова Е. В., Власова Н. В. Эколого-геохимические особенности снега, льда и подледной воды южной части озера Байкал // Геоэкология. Инж. геология. Геокриология. — 2009. — № 1. — С. 54–60.
4. Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Нецветаева О. Г., Томберг И. В., Сезько Н. П. Поступление сульфатов и азота в озеро Байкал с водами его притоков // География и природ. ресурсы. — 2009. — № 1. — С. 61–65.
5. Загорюлько Н. А., Гребенщикова В. И., Склярова О. А. Многолетняя динамика химического состава вод реки Крестовки (приток озера Байкал) // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 3. — С. 76–82.
6. Четвертый оценочный доклад МГЭИК [Электронный ресурс]. — <http://www.climatechange.ru/node/8> (дата обращения 19.07.2016).

7. Роснаука [Электронный ресурс]. — <http://rosnauka.ru/publication/844> (дата обращения 20.07.2016).
8. Исаченко А. Г. Ландшафтное районирование России как основа для регионального эколого-географического анализа // Изв. РГО. — Т. 128, вып. 5. — С. 12–24.
9. Михеев В. С. Ландшафтно-географическое обеспечение комплексных проблем Сибири. — Новосибирск: Наука, 1987. — 208 с.
10. Беркин Н. С., Филиппова С. А., Бояркин В. М., Наумова А. М., Руденко Г. В. Иркутская область (природные условия административных районов). — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1993. — 304 с.
11. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1978. — 319 с.
12. Природопользование и охрана среды в бассейне Байкала / Отв. ред. В. В. Воробьёв, А. В. Мартынов. — Новосибирск: Наука, 1990. — 224 с.
13. Мельхеев М. Н. По берегам Байкала. Географические условия побережья. — Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1977. — 158 с.
14. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. — 487 с.
15. Буренков Э. К., Гинзбург Л. Н., Грибанова Н. К. Комплексная эколого-геохимическая оценка техногенного загрязнения окружающей природной среды. — М.: Прима-Пресс, 1997. — 72 с.
16. Кузьмин В. А. Почвы центральной зоны Байкальской природной территории (эколого-геохимический подход). — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2002. — 166 с.
17. Vlasova N. V., Vorobyeva I. B., Yanchuk M. S. Contemporary landscapes of central Baikal Pribaikalsky National Park // Ecosystems of Central Asia under Current Conditions of Socio-economic Development: Proceed. of Intern. Conf. Ulaanbaatar (Mongolia), September 8–11, 2015. — Ulaanbaatar, 2015. — Vol. 1. — P. 441–444.
18. Глазовская М. А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. — М.: Высш. шк., 1988. — 327 с.
19. Вотинцев К. К., Ходжер Т. В. Химический состав атмосферных осадков в районе оз. Байкал // География и природ. ресурсы. — 1981. — № 4. — С. 100–105.
20. Воробьёва И. Б., Напрасникова Е. В., Власова Н. В. Экологическое состояние юго-западного побережья оз. Байкал при антропогенном воздействии // Пробл. биогеохимии и геохим. экологии. — 2008. — № 3 (7). — С. 115–122.
21. Гребенщикова В. И., Лустенберг Э. Е., Китаев Н. А., Ломоносов И. С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский экологический полигон). — Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2008. — 234 с.
22. Власова Н. В., Воробьёва И. Б., Напрасникова Е. В. Миграция химических элементов в системе почва–растительность юго-западного побережья Байкала (пос. Листвянка) // Рельеф и экзогенные процессы гор: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию Л. Н. Ивановского. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2011. — С. 174–176.
23. Климатические ресурсы Байкала и его бассейна / Отв. ред. Н. П. Ладейщиков. — Новосибирск: Наука, 1976. — 164 с.
24. Волобуев В. Р. Экология почв. — Баку: Изд-во АН АзССР, 1963. — 260 с.
25. Димо В. Н. Тепловой режим почв СССР. — М.: Колос, 1972. — 360 с.
26. Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология. — Л.: Агрометеоиздат, 1978. — 200 с.
27. Классификации и диагностики почв СССР / Сост. В. В. Егоров, Е. И. Иванова, В. М. Фридланд, Н. Н. Розов. — М.: Колос, 1977. — 221 с.

Поступила в редакцию 29 июля 2016 г.
