

УДК 631.4:556.3:502.4

## ДИНАМИКА УРОВНЯ ГРУНТОВЫХ ВОД В ЛАНДШАФТАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА “БУЗУЛУКСКИЙ БОР”

© 2022 г. **А. И. Климентьев<sup>а</sup>**, **Г. В. Петрова<sup>а</sup>\***, **Ю. М. Нестеренко<sup>б</sup>**, **Д. Г. Поляков<sup>б</sup>**

<sup>а</sup>Оренбургский государственный аграрный университет, ул. Челюскинцев, д. 18, Оренбург, 460014 Россия

<sup>б</sup>Оренбургский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Пионерская, 11, Оренбург, 460000 Россия

\*E-mail: [geoecol-onc@mail.ru](mailto:geoecol-onc@mail.ru)

Поступила в редакцию 11.01.2018 г.

После доработки 27.11.2019 г.

Принята к публикации 03.06.2021 г.

Выполнен анализ условий формирования и развития Бузулукского бора. Основой данного лесного массива являются обособленные маломощные песчаные отложения древнего моря на возвышении кристаллического фундамента земной коры и осадочного чехла. Малая их водопроницаемость создала условия удержания гравитационной, капиллярной и других форм воды в песках со спорадическими включениями глинистых прослоек на доступных для сосны глубинах. Высокие фильтрационные свойства песчаных почв в сочетании с лесной подстилкой в 2–3 раза уменьшают сток талых и ливневых вод в сравнении с окружающими бор степными глинистыми почвами, что повышает эффективность использования атмосферных осадков растительностью в водоемных условиях континентального климата. Выявлено на 20–30% увеличение атмосферных осадков в Бузулукском бору в сравнении с осадками в окружающей степи, по-видимому, за счет повышенного рельефа и дополнительного испарения в бору. Важным условием существования бора является накопление и удержание талой воды в грунтовых водах и верховодке песчаных отложений, из которых сосновые древостои в летний засушливый период потребляют влагу в дополнение к атмосферным осадкам вегетационного периода. Глубина залегания и колебания их уровня определяются мощностью песчаных отложений, расположением глинистых прослоек, рельефом и транспирацией сосновых биоценозов. В поймах речных водотоков грунтовые воды залегают на глубине 2–3 м с годовой амплитудой колебания до 1 м. За пределами поймы грунтовые воды залегают на глубине 6–7 м с колебанием уровня до 0.4 м. В понижениях рельефа образуется верховодка с глубиной залегания до 5 м за счет стекающих с возвышенностей грунтовых вод, а различия в глубинах залегания грунтовых вод и их колебаний обусловили формирование в речных поймах и понижениях рельефа древостоев сосны в основном II класса бонитета, а на возвышениях гряд III и IV классов бонитета.

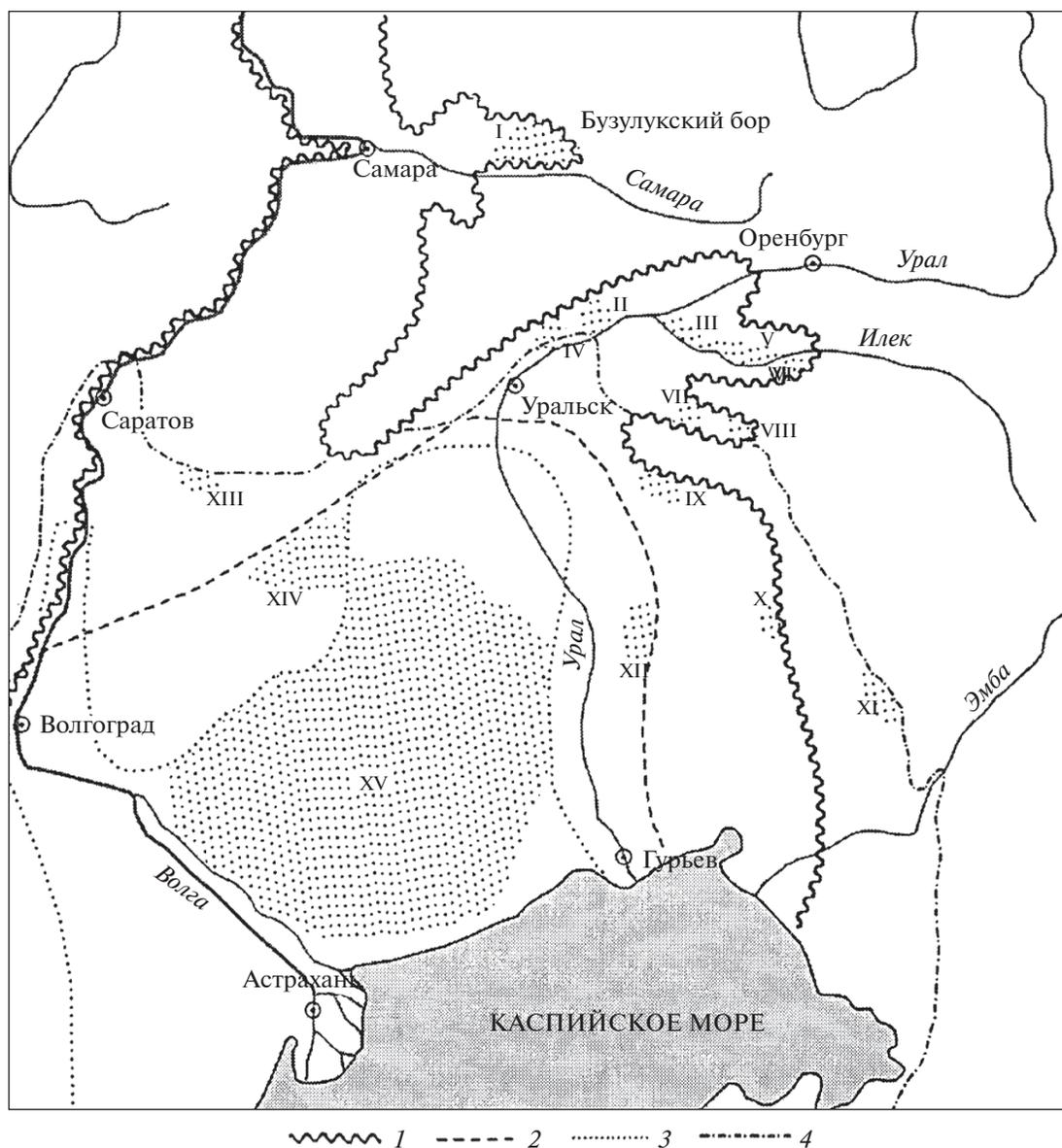
*Ключевые слова:* Бузулукский бор, изменения климата и погоды, колебания уровня грунтовых вод, почва, пойма реки, речная терраса, математическое моделирование, формирование биосистем.

**DOI:** 10.31857/S0024114821050053

Бузулукский бор занимает 111 тыс. га, в том числе 79 тыс. га сосновых биоценозов. Это крупный островной лесной массив для степей Заволжья, но и Северной Евразии в целом. Формирование и развитие бора, его типов, многообразие популяций сосны, производительность фитоценозов во многом определяются песчаной почвообразующей породой, рельефом и континентальным климатом. Их взаимодействие обусловило водный режим с малым, в сравнении с глинистыми почвами, поверхностным стоком талых и ливневых вод и соответствующим увеличением запасов влаги в почвах и грунтах на глубинах, более доступных для сосны, чем для трав и древесной растительности с поверхностной корневой системой, создавая ей конкурентные преимущества в период засух. Изучение водного питания сосно-

вых древостоев Бузулукского бора в степной зоне с коэффициентом увлажнения по испаряемости 0.6 представляет большой научный и практический интерес. Этому вопросу посвящена статья.

Уникальность Бузулукского бора обусловлена наличием песчаных отложений удаленных от основных отложений древнего моря в Прикаспии (рис. 1). Их обособленное формирование обязано островному возвышению на 300–400 м юго-западного склона Пилюгинско-Ивановского выступа кристаллического фундамента земной коры над Самарским пониженным его участком, что отразилось в возвышенном положении осадочного чехла и особенностях осадконакопления на мелководье древнего моря Тетис в период Акчагыльской его трансгрессии (Нестеренко и др.,

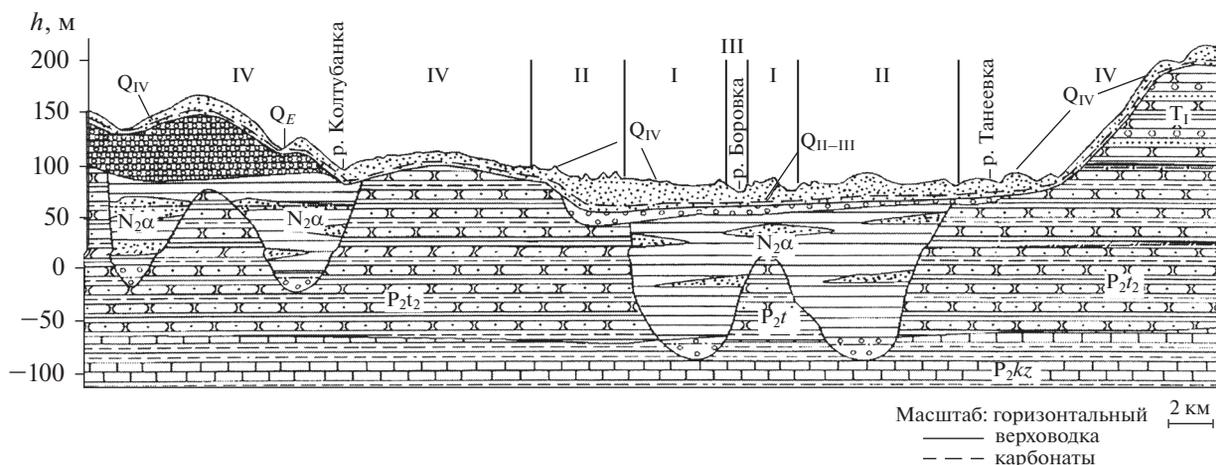


**Рис. 1.** Арены Волго-Уральского региона. Границы трансгрессий Каспийского моря: 1 – Акчагыльская, 2 – Апшеронская, 3 – Хазарская, 4 – Хвалынская. Арены: I – Бузулукский бор, II – Иртекские, III – Нижнеилекские, IV – Январцево-Рубеженские, V – Буранные, VI – урочище Шубарагаш, VII – Караагашские, VIII – Аккумы, IX – Кугузюккумы-Карагандыкумы, X – Баркин, XI – Кызылкум-Сагиз, XII – Бийрюк-Тайсоган, XIII – Приерусланские, XIV – Урдинские, XV – Рын-пески.

2015). На возвышении горных пород, сформированных доломитами, мергелями, известняками, алеволитами и глинами верхней перми с малыми коэффициентами фильтрации, отложились пески (рис. 2). Малая водопроницаемость горных пород создала условия удержания гравитационной, капиллярной и других форм воды в песках со спорадическими включениями глинистых прослоек. Морские течения и древний водный сток постепенно вымыли из песчаных отложений илистые частицы в прилегающие понижения рельефа, сформировав в них суглинистые черноземы.

Мощность песчаных отложений мала, но достаточна для формирования в них водоносного горизонта и верховодки, доступных для растений с глубокой корневой системой.

Высокие фильтрационные свойства песчаных почв в сочетании с лесной подстилкой в 2–3 раза уменьшают сток талых и ливневых вод в сравнении с окружающими бор степными глинистыми почвами, что повышает эффективность использования атмосферных осадков растительностью в воддефицитных условиях континентального климата.



**Рис. 2.** Геолого-экологический профиль в расширенной части р. Боровка через п. Опытный I – первая надпойменная терраса р. Боровки с волнисто-равнинным рельефом – моховой бор I и II бонитета на подбурях дерновых оподзоленных псевдофибровых слабогумусированных и слабогумусовых маломощных супесчаных и песчаных; II – вторая надпойменная терраса р. Боровки с высокими и средними долинными всхолмлениями. По “высокому” рельефу – вершинам и южным третям склонов – лишайниковый сухой бор II и III бонитета, гари на подбурях дерновых оподзоленных слабогумусированных крайне мелких песчаных. На остальной части территории – моховой бор II и III бонитета на подбурях дерновых оподзоленных псевдофибровых слабогумусированных мало- и среднеспесчаных (комплекс сочетаний); III – пойма р. Боровки – припойменный сосняк на аллювиальных серогумусовых дерновых (иногда с псевдофибрами и карбонатами) среднеспесчаных почвах; IV – плакоры и склоны берега, покрытые песчано-суглинистым шлейфом – дубняк липово-сосновый или бор дубово-липовый влажный и свежий, на черноземах типичных и подбурях литобарьерных слабооподзоленных средне- и легкосуглинистых с двухчленным профилем, подстилаемых мергелями – сложный бор

Другим важным условием формирования Бузулукского бора является умеренно континентальный климат с минимально необходимым количеством атмосферных осадков для видов лесной растительности, распространенных в основном в гумидных зонах.

Бузулукский бор в голоцене, по-видимому, соединялся со Ставропольским и Приволжскими ленточными борами. С увеличением засушливости климата он превратился в остров среди степного высокого Сыртового Заволжья. Бор – крупный лесной массив, расположен на изолированной песчаной “подушке”, представляющей собой плейстоценово-голоценовую водно-ледниковую аккумулятивно-эоловую всхолмленную равнину, сложенную преимущественно полиминеральными хорошо отсортированными флювио-гляциальными мелко-среднезернистыми (0.25–0.1 мм) песками, мощностью 2–20 м. Бор расположен на правом берегу р. Самары и дренируется в основном ее притоком р. Боровка с довольно отчетливыми террасами, спускающимися с обеих сторон к ее современной пойме.

На территории бора произрастают различные древесные породы: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), дуб обыкновенный (*Quercus robur*), клен платановидный (*Acer platanoides*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), береза повислая (*Betula pendula*), осина (*Populus tremula*) и другие. Согласно оценкам флористического богатства бора

(Плаксина, 1994; Кин и др., 2014), здесь произрастает 363 вида растений, в том числе 30 древесных и кустарниковых. Древостой бора сложен в основном сосной обыкновенной. Лиственные породы более свойственны понижениям рельефа (Даркшевич, 1950).

Уникальность Бузулукского бора для Северной Евразии и планеты в целом определяется как резерват ценных видов флоры, генетических качеств и продуктивности популяции, обладающей высокой способностью переносить неблагоприятные факторы среды (Высоцкий, 1909; Морозов, 1930, 1964; Сукачев, 1931; Краснов, 1941; Нестеров, 1949; Хиров, 1973). Именно в Бузулукском бору была заложена основа отечественной науки о типах лесных сообществ, их устойчивости, здесь оттачивалась методология и методика научного комплексного познания леса. Отсюда лесная типология широко и уверенно утвердилась в изучении наших и зарубежных лесов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Согласно синергетическому ландшафтному принципу подчинения (Неуструев, 1911; Солнцев, 2001; Климентьев, 2010) о ведущей роли литогенной основы, как самого консервативного, инертного природного компонента в территориальной организации ландшафтов и других региональных систем. Литосфера Общего Сырта под-

чинает своей возвышенной внешней оболочкой ландшафтную оболочку бора, сложенную песками, оказывая заметное орографическое влияние, усиливая процессы атмосферной циркуляции, особенно на наветренных позициях склонов. Благодаря усилению фронтальных явлений атмосферное увлажнение иногда значительно превосходит аналогичные показатели соответствующей широтной зоны или сектора.

Колебания уровней грунтовых вод в национальном парке “Бузулукский бор” находятся во взаимозависимости с показателями климата, складывающимися погодными условиями, геологическим строением осадочного чехла Земли, рельефом, биоценозами, почвами и другими компонентами природы, изменяющимися во времени. В статье использованы результаты исследований Бузулукского бора ряда ученых XX в., данные Гидромета и наблюдений Боровой лесной опытной станции (ЛОС) им. А.П. Тольского, а также многолетних полевых исследований и наблюдений авторов статьи.

Наблюдения за режимом грунтовых вод в Бузулукском бору проводились на шести гидрологических площадках Борового опытного лесничества со скважинами в пределах поймы и надпойменных террас р. Боровка. Первые наблюдения проведены А.П. Тольским (1940) в колодце у метеорологической станции, расположенном на переходе от поймы к первой надпойменной террасе. Затем наблюдения были продолжены В.И. Рутковским в 1945–1955 гг. (Рутковский, 1950), Н.Ф. Созыкиным в 1955–1964 гг., Н.А. Воронковым в 1965–1973 гг. (Воронков, 1969, 1973), сотрудниками Боровой ЛОС, в которых участвовали и авторы статьи. Анализы образцов почв и воды выполнялись в сертифицированной лаборатории Агрочимцентра “Оренбургский”. Образцы почв и грунтовых вод подвергнуты разностороннему физико-химическому анализу, в том числе гранулометрическому и агрегатному составу, водно-физических свойств, рН, содержания гумуса, валовых и подвижных форм P, K,  $(\text{NH}_4^+, \text{NO}_3^-)$  и др.

Исследования В.И. Рутковского (1950) были направлены на изучение важнейших климатических и гидрологических факторов, определяющих в условиях бора, главные особенности среды, ее динамику и состояние растительности. Учитывая большое влияние древесной растительности на среду, для изучения взаимосвязи между ними макроклиматические и гидрологические исследования были дополнены стационарными наблюдениями за основными элементами водного баланса на ряде участков, резко различающихся между собой по растительности и глубине залегания уровня грунтовых вод. Главное внимание было уделено макро- и микроклимату, его колебаниям и изменениям в течение всего периода су-

ществования лесных культур. Но до сих пор взаимосвязь лесов с запасами воды в почве мало изучена и требует глубоких комплексных мониторинговых исследований.

Н.Г. Высоцкий (1909) выделил три вида сезонных колебаний уровня грунтовых вод (УГВ): 1) весенний инфильтрационный водоподъем; 2) летнее (десукционное) опускание; 3) осенние (коррективные изменения, зависящие от выравнивания зеркала). Коррективный тип колебания грунтовых вод нередко сохраняется и в зимний период. Все эти колебания происходят на фоне постоянного процесса их оттока в дренирующую сеть.

Н.А. Воронков (1969, 1973) изучал суточные, сезонные и многолетние колебания грунтовых вод. По его многолетним (24 г.) данным, суточная пульсация составляет 3–3.2 см и обусловлена, прежде всего, транспирационной деятельностью растений. Сезонные колебания, равные на террасе 50 см, а в пойме – 130–180 см, обусловлены атмосферными осадками. В суточном цикле колебания грунтовых вод при глубине залегания 2.3–2.5 м под высокопроизводительными сосняками не превышали 1 см, а при глубине 3.0–3.5 м отсутствовали. Здесь, по его мнению, наблюдается только постепенный спад уровня в результате оттока грунтовых вод в места разгрузки. Величина десукционного их расхода зависела как от вида растений, так и от водно-физических свойств почвы-грунтов.

За 24-летний период наблюдений Н.А. Воронкова (табл. 1) начало подъема грунтовых вод в пойме совпадало с началом подъема уровня воды в р. Боровке между 20 марта и 16 апреля. Наиболее высокий их уровень регистрировался между 4 апреля и 12 мая. Однако в пойме, как и в реке, максимальный уровень держится очень недолго (20–30 дней) и уже в апреле–мае начинает опускаться, сначала довольно резко, а затем плавно. К осени (конец сентября) уровень опускался ниже значений, которые наблюдались накануне весеннего водоподъема, свидетельствуя о продолжающемся постепенном врезании русла реки и соответствующего формирования ландшафтной скульптуры рельефа и характера почвенного покрова долины. Средний многолетний суммарный (осенне-зимне-весенний) подъем грунтовых вод составил 74 см (29–176 см), а летне-осеннее падение уровня – 82 см. Суммарное падение уровня превышало величину подъема на 70 см, что и обусловило понижение среднегодового уровня за период наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным метеорологической станции Боровое, расположенной в Бузулукском бору на опытном участке годовое количество атмосферных

Таблица 1. Атмосферные осадки и режим грунтовых вод в песчаных почвах Бузулукского бора

Год	Сумма осадков, мм				Глубина до грунтовых вод, см						Колебания уровня грунтовых вод, см			
	гидрологический год	холодный период (X–IV)	средняя		предвесенний минимум	весенне-летний максимум	в конце вегетационного периода		осеннее-зимний подъем	весенне-летний подъем	суммарный подъем	летнее-осеннее падение		
			календарный год	гидрологический год			вегетационный период (1.V–30.IX)	дата					глубина	
1946	507	255	249	245	15.IV	265	25.IV	144	278	23	121	176	134	
1947	548	316	253	245	27.III	255	4.IV	102	285	23	153	176	183	
1948	532	302	272	263	7.IV	274	5.V	207	298	11	67	78	91	
1949	573	365	281	266	11.IV	286	3.V	216	296	12	70	82	80	
1950	463	219	290	287	1.IV	280	25.IV	247	309	16	33	49	62	
1951	399	281	293	285	27.III	292	21.IV	224	318	17	68	85	94	
1952	357	212	314	309	16.IV	307	6.V	273	332	11	34	45	59	
1953	596	307	309	299	10.IV	308	1.V	259	324	24	49	73	65	
1954	463	248	308	295	30.III	315	12.V	260	323	9	55	64	63	
1955	382	237	313	310	12.IV	292	27.IV	263	339	31	29	60	75	
1956	626	347	308	299	11.IV	313	26.IV	258	320	25	55	80	62	
1957	493	367	295	283	11.IV	298	26.IV	206	322	22	92	114	116	
1958	570	330	301	288	12.IV	310	9.V	248	312	12	62	74	64	
1959	479	271	303	295	6.IV	301	26.IV	236	326	11	65	76	90	
1960	546	259	310	304	30.III	311	30.IV	269	329	15	42	57	60	
1961	504	247	315	314	20.III	311	10.IV	274	333	17	37	54	59	
1962	569	241	312	311	20.III	318	14.IV	266	328	15	52	67	62	
1963	584	336	290	272	10.IV	307	6.V	186	320	21	121	142	134	
1964	783	388	289	273	10.IV	306	6.V	238	299	14	68	82	61	
1965	502	331	285	274	31.III	287	12.V	222	312	11	65	76	90	
1966	545	393	298	296	20.III	292	30.IV	243	322	20	49	69	79	
1967	373	184	328	326	31.III	302	10.IV	293	343	20	9	29	50	
1968	646	348	320	317	29.III	322	18.IV	276	337	21	46	67	61	
1969	360	156	335	338	10.IV	319	24.IV	308	353	18	11	29	45	
1970	674	406	334	340	30.III	328	18.IV	257	368	25	29	54	111	
Среднее	523	294	301	295	300	300	18.IV	239	321	18	59	74	82	

1. Режим грунтовых вод прибрежного типа в пово-грунтах Бузулукского бора на высокой пойме р. Боровки (скв. 1)

Таблица 1. Окончание

Год	Сумма осадков, мм				Глубина до грунтовых вод, см						Колебания уровня грунтовых вод, см			
	гидро-логический год	холодный период (X-IV)	средняя		предвесенний минимум		весенне-летний максимум		в конце вегетационного периода	осенне-зимний подъем	весенне-летний подъем	суммарный подъем	летнее-осеннее падение	
			календарный год	гидрологический год	вегетационный период (I.V – 30.IX)	дата	глубина	дата						глубина
1947	548	316	512	494	29.III	545	23.VII	486	498	59	12	28	40	
1948	532	302	504	472	7.IV	523	7.VII	486	500	37	14	28	40	
1949	573	365	492	476	21.IV	514	29.VI	464	484	50	20	14	28	
1950	463	219	516	516	29.IV	515	19.V	512	517	2	5	31	51	
1951	399	281	519	505	6.IV	538	9.VII	497	516	41	19	19	24	
1952	357	212	543	543	9.V	545	14.VI	539	547	6	8	29	48	
1953	596	307	545	535	28.IV	563	80.VII	528	534	35	6	16	24	
1954	463	248	542	534	3.V	560	27.VII	524	533	36	7	26	32	
1955	382	237	559	559	18.V	558	6.VI	555	563	3	8	25	32	
1956	626	347	550	536'	23.IV	579	2.VIII	528	531	51	3	16	24	
1957	493	367	516	494	17.IV	549	5.VII	484	503	65	19	18	21	
1958	570	330	515	504	24.IV	534	22.VII	497	505	37	8	31	50	
1959	479	271	515	505	23.IV	535	4.VII	495	511	40	16	30	38	
1960	546	259	531	525	9.V	538	8.VII	522	529	16	7	27	43	
1961	504	247	538	532	30.III	546	не отр.	526	535	20	9	17	24	
1962	569	241	545	534	30.III	555	24.VI	534	543	21	9	20	29	
1963	584	336	532	516	10.IV	563	31.VII	507	514	56	7	20	29	
1964	783	388	503	488	30.IV	538	18.VIII	470	478	62	2	24	31	
1965	502	331	481	465	20.IV	505	6.VII	454	474	51	20	27	29	
1966	545	393	485	470	10.IV	503	30.VI	460	484	43	24	29	49	
1967	373	184	524	526	18.V	518	12.VII	525	536	-7	11	34	58	
1968	646	348	540	529	18.IV	559	20.VIII	523	529	36	6	23	34	
1969	360	156	560	561	24.IV	556	20.VII	562	567	-6	5	27	33	
1970	674	406	562	543	12.IV	582	30.VII	535	540	47	5	15	20	
Сред.	523	294	525	513		543		509	520	33	10	24	34	

2. Режим грунтовых вод прибрежного типа в почво-грунтах Бузулукского бора на первой надпойменной террасе р. Боровки (скв. 5, от реки 1440 м)

осадков в среднем за 1936–1950 гг. составило 485 мм (Климатологический справочник СССР, 1954). На соседних метеорологических станциях Борское и Марычевка, расположенных северо-западной в 20 км от бора в степи, их количество на 21% меньше (381 мм). На 30% атмосферных осадков меньше (341 мм) и в 20 км юго-восточнее его на станциях в районе г. Бузулука.

По гидрологическим измерениям на р. Колтубанка (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1966), водосбор которой расположен в Бузулукском бору, в среднем за 1945–1962 гг. на поверхностный сток талых вод пошло 12 мм (2.5% атмосферных осадков), на подземный 9 мм 1 год (1.9% осадков). За пределами бора, по измерениям в верховьях р. Боровка, поверхностный сток талых вод равен 29 мм (8.5% осадков), подземный – 2.5 мм 1 год (0.5% осадков).

На суммарное испарение в бору расходуется в среднем 464 мм 1 год, а за его пределами 350–310 мм 1 год. Следовательно, в Бузулукском бору дополнительно осаждается влага фронтального атмосферного ее переноса и увеличенного суммарного испарения дополнительно накопленной влаги в собственной зоне аэрации. Повышенные атмосферные осадки – важнейшая причина формирования леса, а их динамичность – основа динамичности экосистем бора и фактор эволюционной приспособленности к суровым условиям обитания в степи. Гипотеза о циклических изменениях климата выдвинута в конце XIX в. Е.А. Вручкер (1890) и А.И. Воейковым (1901). Позже теория крупномасштабных колебаний климата разработана А.В. Шнитниковым (1973). Динамика показателей климата в Бузулукском бору представлена на рис. 3. В бору на фоне их цикличности наблюдается тенденция увеличения атмосферных осадков и повышения температуры воздуха.

Согласно гидрогеологическому районированию (Сквалецкий и др., 2006), рассматриваемая территория отнесена к Восточно-Сыртовскому артезианскому району, где наиболее широко развиты нижнеплейстоценово-голоценовый и нижнетриасовый водоносные горизонты, водоносный верхне-татарский комплекс и относительно водоупорный верхнеплиоценовый горизонт функционируют по принципу сообщающихся сосудов. Обособлено от них функционирует верховодка (рис. 2).

В долине р. Боровка выделяются: современная ровная пойма ( $aQ_1$ ), шириной 0.25–3.0 км; первая надпойменная терраса ( $aQ_{III}^2$ ), представляющая собой ровную поверхность, переходящую во вторую надпойменную террасу ясно выраженным невысоким уступом; вторая надпойменная терраса ( $aQ_{III}^1$ ) с мощными песчаными гривами и холмами (Климентьев, 2010).

Гидрогеологические условия бора определяет аллювиальный горизонт ( $aQ$ ), развитый в долинах рек Самара, Боровка, Колтубанка. Он представлен песками, а также гравийно-галечными отложениями, локально в покрове террас – супесями, суглинками и глинами, образующих также линзы в толще песков. Мощность водоносного горизонта колеблется в пределах 8–10 м в долинах р. Колтубанка и р. Боровка.

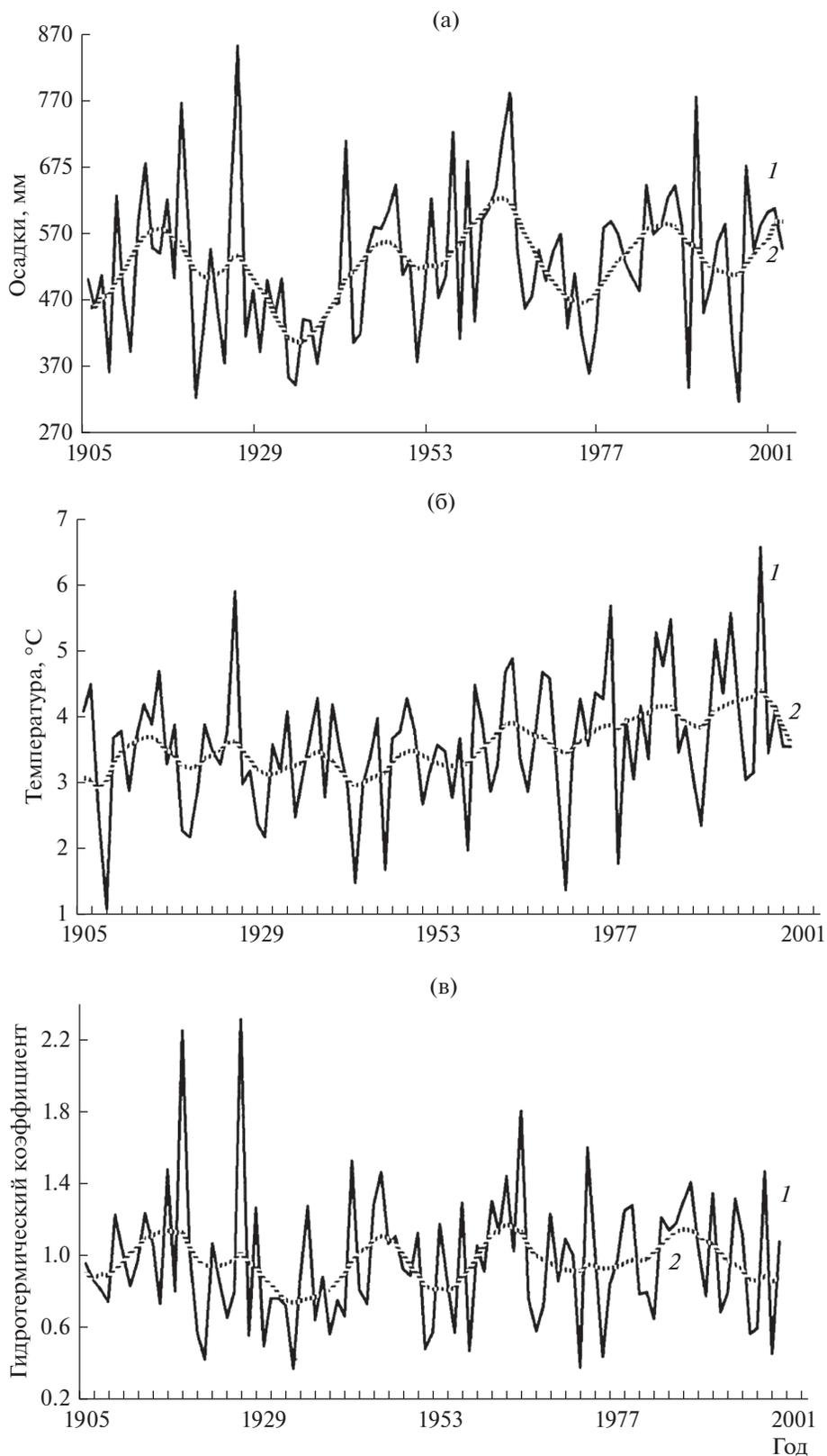
Многолетние наблюдения за уровнем грунтовых вод в бору показали, что он зависит от рельефа, водно-физических свойств почво-грунтов, характера растительности и условий увлажнения. В степной зоне доступность грунтовых вод определяет долговечность и производительность лесных фитоценозов и требует изучения их динамики в многолетних, сезонных и суточных циклах.

В условиях малой влагоемкости песчаных почв и грунтов увеличивается значимость грунтовых вод в водном питании Бузулукского бора. Поэтому их режиму посвящена основная часть статьи.

В таблице 2 приведены сведения о расположении скважин наблюдения за уровнем грунтовых вод по отношению к р. Боровка, средняя глубина до их уровня и его колебания в течение года в 1980–1987 гг.

Анализ табл. 2 показывает, что в подземных водах Бузулукского бора выделяется зона пойменных подземных вод, глубина залегания которой и режим колебания зависят от изменений уровня реки (скв. №№ 1, 2). В этой зоне подземные воды находятся в среднем на глубине 2–3 м. В паводок их уровень повышается, а после его окончания к середине лета понижается в среднем на 1 м. С удалением от реки на километр и более влияние паводкового подъема уровня воды в реке прекращается, и колебания уровня грунтовых вод зависят от количества талых вод, поверхностного их стока, атмосферных осадков вегетационного периода и суммарного испарения (скв. №№ 6–13). Между этими зонами находится переходная зона с влиянием на подземные воды реки лишь в годы высоких уровней половодий (скв. №№ 3, 4).

В пойме подземные воды на расстоянии до 500 м от реки подпираются весенним половодьем и поднимаются в среднем на 66–226 см от земной поверхности и через капиллярную кайму хорошо доступны для древесной растительности до середины лета. К концу вегетационного периода они постепенно расходуются на потребление древесной растительностью и отток в речную сеть, понижаясь до 270 см со скоростью 1 см сут<sup>-1</sup>. Во вторую половину вегетационного периода в пойменной зоне уровень подземных вод продолжает понижаться со скоростью 0.24 см сут<sup>-1</sup>. В осенне-зимний период с прекращением расхода на испарение уровень грунтовых вод медленно, со ско-



**Рис. 3.** Характеристика показателей климата Бузулукского бора в 1905–2002 гг. а – динамика годовых сумм атмосферных осадков; б – динамика среднегодовой температуры воздуха; в – динамика гидротермического коэффициента; 1 – фактический ряд наблюдений, 2 – тренд 6-й степени.

**Таблица 2.** Глубина залегания грунтовых вод в Бузулукском бору в зависимости от расстояния до р. Боровка и их колебание в течение года в 1980–1987 гг.

№ скважины/время	1	2	3	4	5	7	8	9	10	12	13
Расстояние до Боровки, м	50	500	765	1080	1440	2070	2585	3080	3120	3800	4840
Средняя глубина залегания грунтовых вод по периодам года, см											
15.10	292	459	191	517	561	600	552	597	752	685	539
15.02	287	451	191	523	568	606	539	602	754	691	545
15.04	232	385	163	520	573	611	544	608	764	696	549
15.05	226	430	150	506	566	602	543	605	760	692	547
15.06	239	469	158	493	567	587	530	591	746	677	536
15.07	270	485	174	498	546	585	519	558	738	672	530
Средняя глубина залегания	257	446	171	510	564	598	538	594	752	686	541
Колебания уровня грунтовых вод											
15.02–15.04	+66	+55	+28	+3	–5	–5	–5	–6	–10	–5	–4
15.04–15.05	–45	+6	+13	+14	+7	+9	+1	+5	+4	+4	+2
15.05–15.06	–39	–13	–8	+13	–1	+25	+13	+14	+14	+15	+11
15.06–15.07	–16	–31	–16	–5	+21	+2	+11	+33	+8	+5	+6
15.07–15.10	+26	+22	+17	–19	–15	–15	–33	–39	–14	–13	–9
15.10–15.02	+5	+8	0	–6	–7	–6	+13	–5	–2	–6	–6
Повышения	+66	+55	+28	+14	+21	+25	+13	+33	+14	+15	+11
Понижения	–39	–31	–16	–19	–15	–15	–33	–39	–14	–13	–9
Изменение глубин за сезон	0	+24	+8	–5	+6	+10	–20	–6	0	+2	+2

Сумма средних колебаний воды в скважинах створа за сезон в расчете на скважину +1.9 см.

ростью 0.04 см сут<sup>-1</sup>, повышается за счет притока с вышерасположенного водосбора.

За пределами поймы при отсутствии влияния подъема уровня реки подземные воды в паводковый период продолжают понижаться, расходясь на отток при отсутствии поступления талых вод в связи с длительной их инфильтрацией через зону аэрации мощностью 5–7 м. В этой зоне подъем грунтовых вод начинается в начале мая и продолжается до середины лета, что свидетельствует о повышенном увлажнении выше расположенных песчаных отложений нисходящим потоком талых вод и атмосферными осадками. Он дольше продолжается на участках с глубиной залегания грунтовых вод более 6 м. При высокой скорости впитывания воды в песчаную поверхность с лесной подстилкой длительная ее инфильтрация в ниже расположенные грунты с глинистыми прослойками (псевдофибрами) благоприятна для лесной растительности. Исследования запасов влаги в сосновом древостое на различных глубинах в песчаных грунтах в 1968–1971 гг. выявили их увеличение в весенний период и уменьшение с апреля по сентябрь в слое 150–200 см в среднем на 35 мм, в слое 200–250 см на 25 мм, в слое 300–350 см на 2 мм и увеличение в слое 400–450 см в мае-июле на 11 мм. Увеличение запасов влаги в слое 400–450 см на 8–42 мм происходит, по-видимому, за

счет подпитки из ниже расположенной временной верховодки. Следовательно, сосновые древостои потребляют влагу со всей зоны аэрации песчаных отложений Бузулукского бора до глубины 4–4.5 м.

В Бузулукском бору на исследуемой территории на расстоянии до 5 км от р. Боровка подземные воды находятся не глубже 6–7 м, в связи расположением на этих глубинах коренных горных пород, являющихся для них водоупором (рис. 2). Относительно близкое расположение подземных вод, не типичное для окружающей бор степи, является важнейшим условием его функционирования.

На потребление растительностью бора грунтовых вод существенно влияет колебание их уровня. По данным табл. 2 в пойме (скв. №№ 1, 2) они поднимаются в среднем на 64 см и затем к середине лета опускаются в среднем на 0.5 м. Во второй половине лета уровень грунтовых вод в пойме постепенно повышается в среднем на 0.3 м за счет притока подземных вод с водосбора, увеличивая речной сток. За пределами поймы колебание грунтовых вод менее значительно. Основной их подъем наблюдается в конце мая и до середины лета за счет инфильтрации талых и ливневых вод. В последующем, до инфильтрации в следующем году, идет понижение грунтовых вод за счет по-

требления их растениями, сток в гидрографическую сеть, а также на сток в понижения рельефа, где формируется верховодка (скв. № 8).

Сумма средних колебаний воды в скважинах створа за сезон за весь период наблюдений в расчете на одну скважину составляет +1.9 см, что в пределах ошибки измерений и свидетельствует об отсутствии многолетнего изменения средней глубины залегания грунтовых вод и установившемся динамическом равновесии между их уровнями и потреблением воды растительностью бора, состояние которого за последние полвека не ухудшилось. По данным лесоустройства 2002 г. в Бузулукском бору 79 тыс. га хвойных пород. Массовой суховершинности сосны в возрасте 20–50 лет не наблюдается. Суховершинность сосны происходит в загущенных одновозрастных посадках на вершинах гряд в связи с несоответствием между запасами влаги в почво-грунтах и высокой суммарной их потребностью в воде на транспирацию. В острозасушливом 2010 г. на вершинах наиболее высоких гряд погибли сосны в возрасте 25–30 лет.

Почвенно-грунтовые воды, верховодка и верхний водоносный горизонт на территории бора являются важнейшими факторами почвообразования и формирования типов боров. Почвенные воды, образовавшиеся в зоне аэрации песчаных дерново-подбуров, вступают в гидравлическую связь с грунтовыми водами и образуют совместно с ними единый горизонт почвенно-грунтовых вод. Это единство не исключает стока различных слоев почвенно-грунтового потока по латерали в понижения и через водоупоры в ниже расположенные водоносные горизонты с неодинаковой скоростью вследствие значительных различий коэффициентов фильтрации почвенных и подстилающих почву горизонтов. Именно доступность грунтовых вод является определяющим фактором формирования типов боров и почв. На вершинах гряд при недоступности для растений грунтовых вод по классификации В.Н. Сукачева формируются лишайниковые сосняки в основном III и IV класса бонитета (1%), ниже на склонах, в межрядовых ложбинах и в пойме в условиях дополнительного притока влаги и более близкого залегания грунтовых вод – мшистые (около 65%), сложные (около 25%) и ложнотравяные (8%) боры I и II класса бонитета. Относительная высота параллельно-рядового (террасового) эрозионного рельефа территории бора обуславливает своеобразную переходную зональность типов леса, определяемую уровнем залегания грунтовых вод. При наличии близких (0.5–2 м) к поверхности водоупоров – мергелей и опок элювиальной перми в условиях дополнительного притока латеральной влаги и элементов-органогенов формируются травяные боры, локально нарушающие вышеуказанную зональность.

В почвах бора почвенно-грунтовые воды являются, как правило, временными верховодками, появляясь рано весной, часто – осенью, а иногда и летом. Существующие микроклиматические условия вершин дюн и склонов исключают возможность образования почвенных вод. В них верхняя граница капиллярной каймы грунтовых вод всегда остается достаточно удаленной от нижней границы почвенной толщи. Наличие сухого “мертвого” горизонта между ними – обычное явление. Водный режим почв в этих случаях складывается по типу непромывного, а почвенные воды считаются самостоятельными, как особая категория природных вод.

Образование в почвах пленочно-подвешенной, капиллярно-подвешенной и стыковой влаги в природных условиях Бузулукского бора наблюдается при глубоком залегании водоносного горизонта. Между ним и вышерасположенной подвешенной водой находится толща относительно сухой почвы, в которой содержится только пленочная влага (Воронков, 1969, 1973).

Анализ количества выпавших осадков и глубин залегания уровня грунтовых вод показал, что динамика трендов всех типов грунтовых вод имеет сходный характер и, следовательно, подчиняется одним закономерностям. Тренды глубин залегания уровня грунтовых вод в большей степени копируют линию выпавших осадков за холодный период года (октябрь–апрель).

Снижение количества атмосферных осадков и повышение температуры, как в холодный, так и теплый периоды года, отмеченное в первой половине 1970-х годов (рис. 3), привело к понижению уровней и уменьшению амплитуды колебаний глубин грунтовых вод переходного и водораздельного типов. В результате наблюдалось сближение глубин предвесеннего минимума и весенне-летнего максимума.

Анализ данных влияния осадков на процесс колебания уровня грунтовых вод в песках Бузулукского бора (табл. 3) показал, что осадки холодного периода, определяющие дисперсию весенне-летнего подъема уровня грунтовых вод, имеют долю влияния в пределах 70–75%. Их роль прослеживается и в колебательном процессе летне-осеннего их падения в прибрежном и переходном типах. И только на водоразделах влияние зимних осадков на падение уровня грунтовых вод в течение вегетационного периода не установлено. Доля осадков теплого периода в колебаниях летне-осеннего падения невысока – 45–58% случаев. Об этом говорит и форма линии тренда этих осадков: она более искривлена и менее сопоставима с линиями трендов глубин грунтовых вод, чем линия трендов осадков холодного периода (Климентьев, 2010).

**Таблица 3.** Взаимосвязь колебаний уровня грунтовых вод в почво-грунтах и атмосферных осадков Бузулукского бора в 1946–1974 гг.

Независимая переменная	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
<b>1. Прибрежный тип грунтовых вод, высокая пойма р. Боровки, кв. 74 Борового опытного лесничества (скв. № 2, от реки 500 м)</b>				
Весенне-летний подъем уровня грунтовых вод				
У-пересечение	–20.7	8.2	0.0178	–
Осадки холодного периода	0.198	0.025	0.0000	69.09
Для полной регрессии: $R^2 = 0.6909$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 9.6				
Летне-осеннее падение уровня грунтовых вод				
У-пересечение	44.2	6.2	0.0000	–
Осадки теплого периода	–0.119	0.017	0.0000	49.285
Осадки холодного периода	0.067	0.017	0.0005	18.904
Для полной регрессии: $R^2 = 0.68189$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 6.3				
<b>2. Переходный тип грунтовых вод, кв. 56 Борового опытного лесничества (скв. № 5, от реки 1440 м)</b>				
Весенне-летний подъем уровня грунтовых вод				
У-пересечение	–49.9	9.1	0.0000	–
Осадки холодного периода	0.258	0.028	0.0000	75.387
Для полной регрессии: $R^2 = 0.75387$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 10.7				
Летне-осеннее падение уровня грунтовых вод				
У-пересечение	13.6	3.7	0.0011	–
Осадки теплого периода	–0.064	0.0103	0.0000	44.863
Осадки холодного периода	0.037	0.0101	0.0012	18.501
Для полной регрессии: $R^2 = 0.63364$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 3.8				
<b>3. Водораздельный тип грунтовых вод, кв. 27 Борового опытного лесничества (скв. № 4, от реки 1080 м)</b>				
Весенне-летний подъем уровня грунтовых вод				
У-пересечение	–43.0	10.0	0.0002	–
Осадки холодного периода	0.250	0.031	0.0000	70.418
Для полной регрессии: $R^2 = 0.70418$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 11.7				
Летне-осеннее падение уровня грунтовых вод				
У-пересечение	33.8	3.1	0.0000	–
Осадки теплого периода	–0.078	0.012	0.0000	58.341
Для полной регрессии: $R^2 = 0.58341$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 4.7				

Результаты анализа показали, что осадки холодного периода года формировали корреляционное поле с меньшим отклонением дат от теоретической линии регрессии, чем это наблюдалось для осадков теплого периода.

Если представить гипотетически влияние вышерасположенных грунтовых вод на ниже расположенные, то зависимость колебания в этот период уровня грунтовых вод переходного типа де-

терминируется коэффициентом  $R^2 = 0.94$  при отсутствии значимого влияния грунтовых вод водораздельного типа. Если рассматривать этот же процесс взаимовлияния грунтовых вод в обратном направлении (в рамках модели множественной регрессии), то колебание весенне-летнего подъема уровня водораздельного их типа практически полностью детерминируется уровнем грунтовых вод переходного типа ( $R^2 = 0.65$ ). Влияние

**Таблица 4.** Взаимосвязи динамики колебаний типов грунтовых вод в Бузулукском бору в 1946–1974 гг.

Тип грунтовых вод	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Уровень значимости	Доля влияния фактора, %
1. Зависимость колебания весенне-летнего подъема уровня грунтовых вод переходного типа от варьирования его прибрежного и водораздельного типов				
У-пересечение	–13.83	3.15	0.0002	–
Прибрежный	0.7689	0.168	0.0001	92.77
Водораздельный	0.3679	0.134	0.0113	1.60
Для полной регрессии: $R^2 = 0.9437$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 5.2				
2. Зависимость колебания летне-осеннего падения уровня грунтовых вод прибрежного типа от варьирования его переходного и водораздельного типов				
У-пересечение	18.70	2.92	0.0000	–
Переходный	1.02	0.297	0.0019	59.51
Водораздельный	0.488	0.237	0.0498	5.67
Для полной регрессии: $R^2 = 0.6518$ ; $p < 0.000$ ; стандартная ошибка оценки = 6.6				

грунтовых вод прибрежного типа в этом процессе незначимо. Был рассмотрен и третий вариант их взаимодействия, когда предиктантом выступает переходный тип, а прибрежный и водораздельные типы грунтовых вод являлись предикторами (табл. 4). Здесь основное влияние на колебание весенне-летнего уровня оказал их прибрежный тип.

Исследование взаимосвязей колебаний летне-осеннего падения уровня грунтовых вод в песках Бузулукского бора показало, что их дисперсия прибрежного типа в результате летне-осеннего падения обусловлена динамикой остальных двух типов, но основная доля влияния в данном взаимодействии приходится на грунтовые воды переходного типа. Другие взаимосвязи между изучаемыми их типами статистически доказать не удалось.

Приведенные данные позволяют предположить, что основное взаимодействие грунтовых вод в песках Бузулукского бора происходит между прибрежным и переходным типами. Так, в весенне-летний период варьирование подъема их уровня переходного типа в 88% случаев (т.е. 22 года из 24 изученных) определяется влиянием колебательного процесса прибрежного типа. В летне-осенний период (к концу вегетационного периода) предиктор и предиктант меняются местами, и уже в 60% случаев (17 лет из 24) переходный тип грунтовых вод обуславливает варьирование падения их уровня прибрежного типа.

В засушливые годы инфильтрационный подъем заканчивался уже во второй половине мая, а во влажные — продолжался до августа-сентября, иногда даже до октября (1964 г.). Растянность периода инфильтрации связана с зависанием (подвисанием) большого количества влаги в почвенно-грунтовой толще и последующим ее медленным стеканием за счет псевдофибр (полупроницаемых мем-

бран), торфяных тел и других прослоек в почво-грунтах (Климентьев, 2010). Эта особенность почво-грунтов Бузулукского бора имеет важное экологическое значение для влагообеспеченности растений и существенно сказывается на их водном режиме, повышая устойчивость фитоценозов.

Многолетние колебания уровня грунтовых вод в основном обусловлены климатическими и геологическими (тектоническими и денудационными) процессами. Заселение и более мощное развитие сосны на дерново-подбурках бора связано с плювиалами — влажными палеоклиматическими периодами, а усыхание, или упадок бора — с засушливыми периодами. В текущем тысячелетии сосна развивается в оптимальных условиях, несмотря на циклы засух и усиление антропогенного пресса, особенно в последние два столетия (Климентьев, 2010).

В Бузулукском бору средний годовой суммарный сток поверхностных и подземных вод (р. Колтубанка, пост разъезда Лес) равен 21 мм, а за его пределами (р. Боровка, пост Якутино) он в 1.5 раза больше при меньшем количестве атмосферных осадков. В р. Колтубанка соотношение межженных и весенних расходов воды в 8 раз меньше, чем в р. Боровка за пределами бора. Следовательно, бор уменьшая суммарный водный сток с увеличением подземного стока, выполняет важную водорегулирующую функцию. Наибольшее значение в водном стоке имеют талые воды. Они формируют весенние паводки рек и являются основным источником питания почвенно-грунтовых и подземных вод.

Исследование поведения элементов-органогенов в профилях почво-грунтов бора представляет теоретическую и практическую значимость. Установлено, что в глубоких горизонтах подбуров

дерновых, оподзоленных песчаных содержание соединений элементов-органогенов – азота, фосфора, калия, кальция, магния, алюминия в ряде случаев одинаковое или даже превышает их содержание в верхних гумусовых горизонтах. Волекаясь наряду с углеродом гумусовых веществ в денудационно-аккумулятивные процессы, элементы-биофилы, прежде всего азот, фосфор и подвижный калий, в значительных количествах мигрируют в почво-грунтах с водным стоком, что имеет большое значение в общем балансе органического вещества и элементов питания растений.

На основании гранулометрического состава, морфологических и химических свойств почв выделены основные их группы, формирующие базовые модели боров (рис. 4). В этих группах почв можно выделить некоторые особенности: отмечается бимодальное распределение в почвенной толще валовых и подвижных форм калия, фосфора, обменных оснований ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ). Первый пик концентрации биофилов приурочен к горизонту АУ, второй – к горизонту ВF, минимум – к оподзоленному горизонту АУе. Дифференциация соединений биофильных элементов невысокая во всех группах почв, кроме V группы, где много валовых и подвижных форм фосфора. Для древесных пород их доступность несколько большая, так как труднодоступные соединения фосфора поддаются воздействию микоризы. Они, по-видимому, принимают участие и в азотном питании древесных растений. Есть основания предполагать, что обогащение почв понижений в хвойно-широколиственных лесах подвижными соединениями фосфора по всему профилю, а в верхних горизонтах – оксидами железа в рассеянной форме также связано с латерально-склоновыми их перемещениями стоком грунтовых вод (Климентьев, 2010).

Максимальное содержание подвижных форм калия, фосфора и обменных кальция и магния приурочено к нижним – иллювиальным горизонтам почв в понижениях рельефа под березово-липняковыми участками соснового леса, и особенно в типичных и оподзоленных черноземах и в дерново-подбурях литобарьерных сложных боров и влажных дубрав. Лишайниковые боры возвышенностей с бедными почвами в понижениях рельефа сменяются моховыми, а затем в низинах – сложными борами, где в пределах корнеобитаемого горизонта находятся богатые элементами зольного питания коренные породы. Таким образом, пространственно-временная эколого-геохимическая организованность биогеоценозов Бузулукского бора является главным условием их экологической устойчивости и биологической продуктивности.

Установлено, что водопроницаемость песчаных почво-грунтов с наличием единичных и, осо-

бенно, нескольких прослоек псевдофибр значительно варьирует по площади и при наличии песчано-железистых прослоек-псевдофибр уменьшается на порядок и более. Этот феномен важен для понимания сущности и динамики стока грунтовых вод по отношению к их питанию. В засушливые годы водный сток часто бывает не меньше, чем во влажные. Таким образом, псевдофибры с малым коэффициентом фильтрации увеличивают время движения воды в грунтах, компенсируя отрицательные тенденции климата. Указанный феномен Бузулукского бора обеспечивает жизнедеятельность, долговечность и особое высокое качество сосновых насаждений. Выступая в качестве естественных полупроницаемых мембран, удлиняющих процесс периода питания за счет торможения вертикального и латерального водного стока, они выступают как хранители и перераспределители влаги в почво-грунтах.

Динамика грунтовых вод имеет четко выраженный циклический характер, согласованный с циклическостью атмосферных осадков. В прибрежной и переходной зонах речной сети наблюдается прогрессивное снижение их уровня в связи с постоянно идущим процессом понижения базиса эрозии.

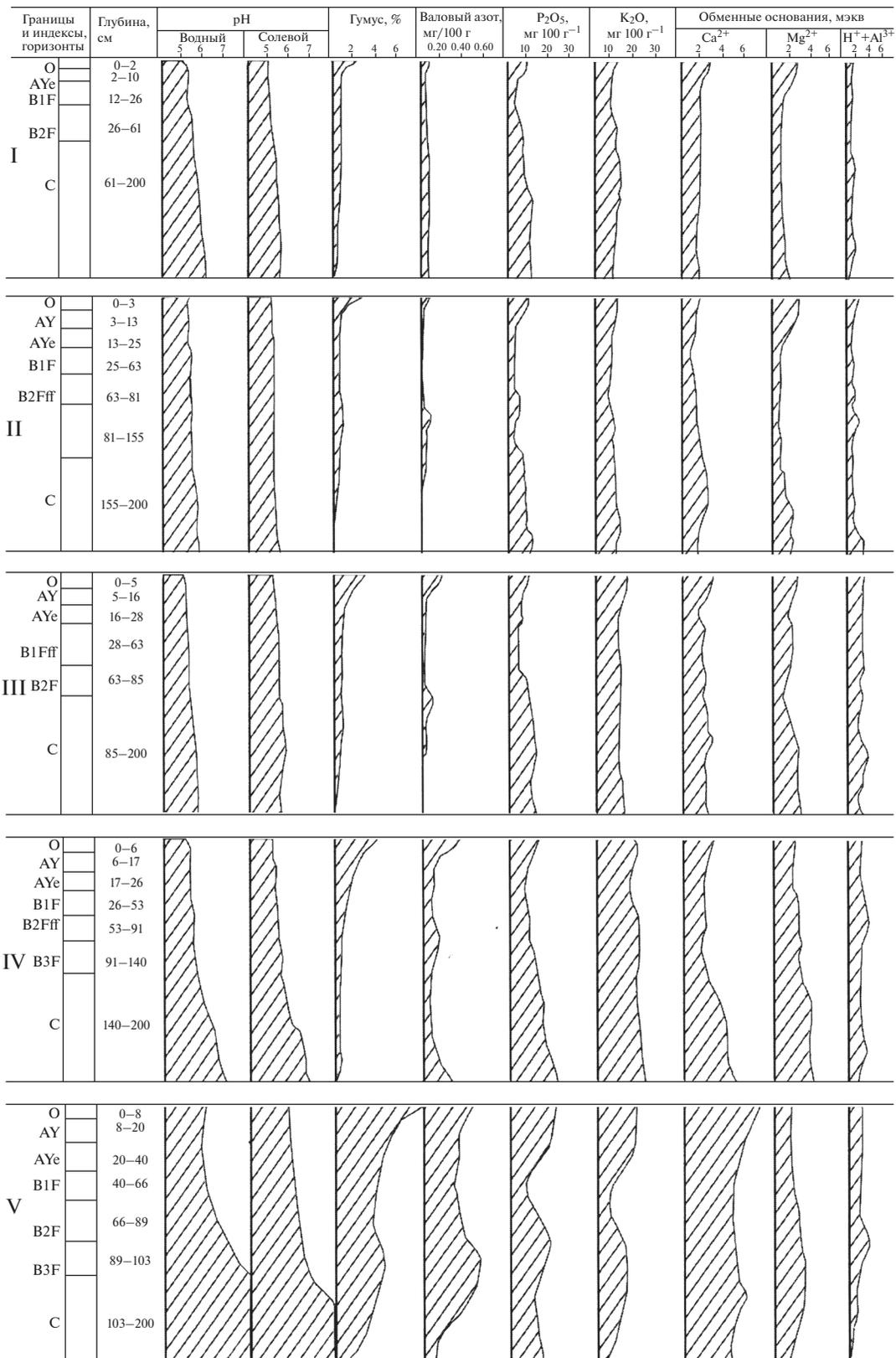
## ВЫВОДЫ

1. В песчаных ландшафтах Бузулукского бора со сложным почвенным покровом, обусловленным тесным взаимодействием почвообразующих факторов с колебаниями уровня грунтовых вод, глубина их залегания и колебания уровня являются базовыми составляющими, влияющими на динамику и устойчивость биогеоценозов и почв. Доступность грунтовых вод определяет типы бора, долговечность его фитоценозов, а в сухой степи – сам факт существования древостоев.

2. Динамика уровня грунтовых вод в разных ландшафтных единицах существенно различается и зависит от рельефа, водно-физических свойств почво-грунтов и характера растительности. В зависимости от этих факторов выделяются суточные, сезонные и многолетние их колебания.

3. Суточные колебания уровня грунтовых вод составляют до  $3 \text{ см сут}^{-1}$  и обусловлены в основном транспирационной деятельностью растений. Сезонные колебания определяются атмосферными осадками. Их амплитуда не превышает 60 см на первой террасе р. Боровки и в среднем равна метру в пойме. Многолетние колебания уровня зависят в основном от периодичности атмосферного увлажнения и достигают 180 см в пойме и 60 см на первой надпойменной террасе.

4. Математическим моделированием вычислена доля влияния факторов на динамику грунтовых вод разных типов. К основным факторам от-



**Рис. 4.** Химический состав и физико-химические свойства подбуров дерновых, определяющих стохастические (вероятностные) модели боров в Бузулукском бору (средние данные по 24 разрезам):

I слабогумусированные иногда псевдофибровые крайне-мелкие (малосформированные) песчаные вершин высоких гряд, холмов и верхних частей южных склонов (лишайниковый сосняк);

II слабогумусированные псевдофибровые средне-мелкие песчаные северных склонов (моховые боры);

III слабогумусированные псевдофибровые маломощные песчаные и супесчаные слабоволнистых склонов и выровненных поверхностей (ложно-травяные и др. боры);

IV малогумусные среднеспособные западин (сложные боры);

V дерново-подбуры литобарьерные (сложные боры) и черноземы типичные внутри- боровых и приборовых сыртов и их пологих склонов (нагорные, байрачные дубравы влажные).

носятся атмосферные осадки, особенно зимние. Летние осадки быстро испаряются или перехватываются растительностью. Прибрежный тип грунтовых вод является решающим фактором, влияющим на их уровни переходного и террасового типов. Основное их взаимодействие происходит между прибрежным и переходным типами.

5. На высоких сглаженных выпуклых плаках, особенно в левобережной водораздельной части с маломощным покрытием песками, присутствие в 0,7–1,5 м от дневной поверхности грунтовых вод определило двучленность профиля почв с песчаным или легкосуглинистым профилем вверху и глинистым водоупором из карбонатных мергелей и глин – внизу. В условиях близкого водоупора и большого количества элементов-органогенов в породах при наличии дополнительного латерального транспорта элементов питания сформировались типичные и оподзоленные высокогумусированные черноземы, сочлененные с дерново-подбурами, на которых получили развитие сложные боры.

6. Изменение глубины залегания грунтовых вод влечет за собой перестройку всех других подсистем геоэкоисотемы. В этой связи в Бузулукском бору, наряду с разработкой и применением в лесоразведении совершенных лесокультурных мероприятий, необходимо учитывать гидрогеологические условия территории. Для улучшения и поддержания оптимального колебания уровня грунтовых вод в бору необходимо строить плотины на постоянных временных его водотоках.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Воейков А.И.* Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири // Метеорологический вестник. 1901. № 3. С. 16–27.

*Воронков Н.А.* Влагообеспеченность сосновых насаждений и методы ее определения // Почвоведение. 1969. № 4. С. 46–58.

*Воронков Н.А.* Влагооборот и обеспеченность сосновых насаждений. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 183 с.

*Высоцкий Н.Г.* Бузулукский бор и его окрестности. Почвенно-ботанико-лесоводственный очерк (отдельные отгиски из лесного журнала) // Лесной журн. 1909. № 10. 50 с.

*Воейков А.И.* Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири // Метеорологический вестник. 1901. № 3. С. 16–27.

*Даркшевич Я.Н.* Птицы и звери Чкаловской области и охота на них (спутник охотника и натуралиста). Чкалов: Чкаловское изд-во, 1950. 190 с.

*Кин Н.О., Калмыкова О.Г., Сенатор С.А.* Таксономическая структура и эколого-биологические особенности флоры Бузулукского бора // Изв. Самарского НЦ РАН. Самара: Изд-во ФГБУН Самарского НЦ РАН. 2014. Т. 16. № 1. С. 39–45.

Климатологический справочник СССР. Вып.12, Ч. II. Осадки., Л.: Гидрометеиздат, 1954. 640 с.

*Климентьев А.И.* Бузулукский бор: почвы, ландшафты и факторы географической среды. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2010. 401 с.

*Климентьев А.И.* Роль подстилки в формировании профиля почв Бузулукского бора // Степи Северной Евразии: материалы IV международного симпозиума. Оренбург: ИПК “Газпромпечат”, 2006. С. 357–360.

*Краснов М.А.* Влажность почвогрунтов на полянах, вырубках и в различных насаждениях Бузулукского бора // Лесн. хозяй-тво. 1941. № 1. С. 22–25.

*Морозов Г.Ф.* Очерки по лесокультурному делу. М.; Л.: Сельхозгиз, 1930. 410 с.

*Морозов Г.Ф.* Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. 400 с.

*Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Соколов А.Г.* Геодинамические процессы в разрабатываемых месторождениях углеводородов (на примере Южного Предуралья). Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2015. 186 с.

*Нестеров В.Г.* Общий очерк Бузулукского бора // Бузулукский бор. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. Т. I. С. 5–142.

*Неуструев С.С.* О почвообразовательных процессах в сыпучих песках // Изв. Русск. геогр. общества. М., 1911. Т. 47. Вып. 6. С. 71–104.

*Плаксина Т.Н.* Флора Волжско-Уральского региона: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук: (спец. 03.02.01). М.: Изд-во “Самарский университет”, 1994. 36 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 12. Нижнее Поволжье и Западный Казахстан.. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1966. 370 с.

*Рутковский В.И.* Динамика климатических и гидрологических условий и влияние ее на лесные культуры по исследованиям в Бузулукском бору: Автореф. Дис. ... докт. с.-х. наук. Пушкино: Изд-во ВНИИЛХ. 1950. 11 с.

Солнцев Н.А. Учение о ландшафте // Избр. труды. М.: Изд-во МГУ, 2001. 380 с.

Сукачев В.Н. Типы леса Бузулукского бора // Труды и исслед. по лесному хозяйству и лесной пром-ти (Тр. Бузулукской экспедиции. Ч. 1.). Л.: Изд-во Ленингр. Облесполкома и Совета, 1931. Вып. 13. 256 с.

Сквалецкий Е.Н., Климентьев А.И., Нестеренко Ю.М. Гидрологические особенности Бузулукского бора // Степи Северной Евразии: материалы IV международного симпозиума. Оренбург: ИПК "Газпромпечатъ" 2006. С. 662–664.

Ткаченко М.Е., Асосков А.И., Синев В.Н. Общее лесоводство. Л.: Гослестехиздат, 1939. 746 с.

Тольский А.П. Лес и гидрологические вопросы на IV Международном съезде // Лесной журн. 1940. № 6. С. 952–975.

Хиров А.А. Изменчивость сосны обыкновенной в Бузулукском бору и ее значение для лесного семеноводства // Лесоведение. 1973. № 3. С. 23–34.

Шнитников А.В. Многовековой ритм развития ландшафтной оболочки // Хронология плейстоцена и климатическая стратиграфия. Л.: Государственная обсерватория СССР, 1973. С. 7–38.

Bruckher E.A. Klimaschwankungenseit nebst Bemerkungenuber die. Klimaschwankungender Diluvialzeit. 1890. Bd4, hf.2. P. 43–58.

## Hydrological Conditions of the Buzluksky Bor National Park and the Groundwater Level's Fluctuations

A. I. Kliment'ev<sup>1</sup>, G. V. Petrova<sup>1, \*</sup>, Yu. M. Nesterenko<sup>2</sup>, and D. G. Polyakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Orenburg State Agrarian University, Cheluskintsev st., 18, Orenburg, 460014 Russia

<sup>2</sup>Orenburg federal research center Ural Branch of RAS, Pionerskaya st., 11, Orenburg 460000 Russia

\*E-mail: geoecol-onc@mail.ru

The analysis of the formation and development conditions of the Buzuluksky pine forest was carried out. Underlying this forest area are isolated thin sandy deposits of the ancient sea on the rise of the crystal bedrock and sedimentary cover. Their low water conductivity led to the retention of gravitational, capillary and other water forms in sands with sporadic inclusions of clay layers at depths accessible to pines. The high filtration properties of sandy soils in combination with forest litter reduce the runoff of melt and storm water by 2–3 times in comparison with the steppe clay soils surrounding the forest, which increases the efficiency of vegetation using the atmospheric precipitation in water-deficient conditions of the continental climate. An increase of 20–30% in atmospheric precipitation was determined in the Buzuluksky pine forest in comparison with the surrounding steppe, apparently due to the heightened landscape and additional evaporation in the pine forest. An important condition for the existence of the forest is the accumulation and retention of melt water in groundwater and in the perched water of sandy sediments, available for pine stands in dry summer periods as a water source in addition to atmospheric precipitation of the growing season. The depth of waters and fluctuations in their level are determined by the thickness of sandy deposits, the location of clay layers, landscape and transpiration of pine biocenoses. In the floodplains of rivers, groundwater occurs at a depth of 2–3 m with an annual fluctuations of up to 1 m. Outside the floodplain, groundwater occurs at a depth of 6–7 m with a fluctuation of up to 0.4 m. m due to the groundwater flowing down from the heights. The differences in the depths of groundwater level and their fluctuations determined the formation of pine stands in river floodplains and depressions of the relief. Those stand mainly belong to the II quality class, and on the hills and the ranges—to the III and IV quality classes.

*Keywords:* Buzuluksky bor, climate and weather changes, groundwater levels fluctuations, soil, river floodplain, river terrace, mathematical modeling, biosystems formation.

### REFERENCES

Bruckher E.A., Klimaschwankungenseit nebst Bemerkungenuber die, In: Klimaschwankungender Diluvialzeit, 1890, Bd4, hf. 2, pp. 43–58.

Darkshevich Y.N., *Ptitsy i zveri Chkalovskoi oblasti i okhota na nikh (sputnik okhotnika i naturalista)* (Birds and animals of the Chkalovsk region and hunting for them (guide for the hunter and naturalist)), Chkalov: Chkalovskoe izdatel'stvo, 1950, 190 p.

Khиров А.А., *Izmenchivost' sosny obyknovennoi v Buzulukskom boru i ee znachenie dlya lesnogo semenovodstva* (Variability of Scots pine in Buzuluk pine forest and its importance for forest seed production), *Lesovedenie*, 1973, No. 3, pp. 23–34.

Kin N.O., Kalmykova O.G., Senator S.A., *Taksonomicheskaya struktura i ekologo-biologicheskie osobennosti flory Buzulukskogo bora* (Taxonomic structure and ecological and biological features of flora Buzuluk forest), *Izvestiya Samarskogo NTs RAN*, 2014, Vol. 16, No. 1, pp. 39–45.

*Klimatologicheskii spravochnik SSSR*, (Climatological Handbook of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1954, Vol. 12. Part II. Precipitation, 640 p.

Kliment'ev A.I., *Buzulukskii bor: pochvy, landshafty i faktory geograficheskoi sredy* (Buzuluksky Bor: soils, landscapes and geographic factors), Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2010, 401 p.

Kliment'ev A.I., *Rol' podstilki v formirovanii profilya pochvy Buzulukskogo bora* (The role of litter in the formation of the

- soil profile of the Buzuluk pine forest), *Steppes of Northern Eurasia*, Proc. of the IV International symposium, Orenburg: IPK "Gazprompechat", pp. 357–360.
- Krasnov M.A., Vlazhnost' pochvogruntov na polyanakh, vyrubkakh i v razlichnykh nasazhdeniyakh Buzulukского bora (Moisture of soil in glades, clearings and in various plantations of Buzuluk pine forest), *Lesnoe khozyaistvo*, 1941, No. 1, pp. 22–25.
- Morozov G.F., *Ocherki po lesokul'turnomu delu* (Essays on forestry), Moscow, Leningrad: Sel'khozgiz, 1930, 410 p.
- Morozov G.F., *Osnovy lesnoi biogeotsenologii* (Bases of forest biogeocenology), Moscow: Nauka, 1964, 400 p.
- Nesterenko M.Y., Nesterenko Y.M., Sokolov A.G., *Geodinamicheskie protsessy v razrabatyvaemykh mestorozhdeniyakh uglevodorodov (na primere Yuzhnogo Predural'ya)* (Geodynamic processes on the oil and gas fields under development (on the example of South Ural)), Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2015, 186 p.
- Nesterov V.G., Obshchii ocherk Buzulukского bora (General essay of the Buzuluk pine forest), In: *Buzulukskii bor* (Buzuluksky Bor), Moscow, Leningrad: Goslesbumizdat, 1949, Vol. I, pp. 5–142.
- Neustruev S.S., O pochvoobrazovatel'nykh protsessakh v sypuchikh peskakh (About soil-forming processes in light sands), *Izv. Russk. geogr. obshchestva*, 1911, Vol. 47, No. 6, pp. 71–104.
- Plaksina T.N., *Flora Volzhsko-Ural'skogo regiona. Avtoref. diss. d-ra biol. nauk* (Flora of Volga-Ural region. Extended abstract of Doctor's biol. sci. thesis), Moscow: Izd-vo "Samsarskii universitet", 1994, 36 p.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki*, (Surface water resources of the USSR. Basic hydrological characteristics), Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1966, Vol. 12, Lower Volga region and Western Kazakhstan, 370 p.
- Rutkovskii V.I., *Dinamika klimaticheskikh i gidrologicheskikh uslovii i vliyanie ee na lesnye kul'tury po issledovaniyam v Buzulukskom boru. Avtoref. Dis. dokt. s.-kh. nauk.* (The dynamics of climatic and hydrological conditions and its influence on forest crops according to research in the Buzuluk pine forest. Extended abstract of Doctor's agric. sci. thesis), Pushki-no: Izd-vo VNIILKh, 1950, 11 p.
- Shnitnikov A.V., Mnogovekovoi ritm razvitiya landsaftnoi obolochki (The centuries-old rhythm of the landscape envelope development), In: *Khronologiya pleistotsena i klimaticheskaya stratigrafiya* (Chronology of the Pleistocene and climatic stratigraphy), Leningrad: Gosudarstvennaya observatoriya SSSR, 1973, pp. 7–38.
- Skvaletskii E.N., Kliment'ev A.I., Nesterenko Y.M., Gidrologicheskie osobennosti Buzulukского bora, *Steppes of Northern Eurasia*, Proc. of IV International symposium, Orenburg: IPK "Gazprompechat", pp. 662–664.
- Solntsev N.A., *Uchenie o landshafte* (Theory of the landscape), Moscow: Izd-vo MGU, 2001, pp. 380.
- Sukachev V.N., Tipy lesa Buzulukского bora (Forest types of the Buzuluk pine forest), In: *Trudy i issled. po lesnomu khozyaistvu i lesnoi prom-ti (Tr. Buzulukской ekspeditsii. Ch. 1.)* (Proceedings and research on forestry and timber industry (Proceedings of the Buzuluk expedition. Part 1)), Leningrad: Izd-vo Leningr. Oblispolkoma i Soveta, 1931, Vol. 13, 256 p.
- Tkachenko M.E., Asoskov A.I., Sinev V.N., *Obshchee lesovodstvo* (Basics of forest management), Leningrad: Goslestekhizdat, 1939, 746 p.
- Tol'skii A.P., Les i gidrologicheskie voprosy na IV Mezhdunarodnom s'ezde (Forest and hydrological issues at the IV International Congress), *Lesnoi zhurnal*, 1940, No. 6, pp. 952–975.
- Voeikov A.I., Kolebaniya klimata i urovnya ozer Turkestana i Zapadnoi Sibiri (Fluctuations in climate and level of lakes in Turkestan and Western Siberia), *Meteorologicheskii vestnik*, 1901, No. 3, pp. 16–27.
- Voronkov N.A., Vлагообеспеченность сосновых насаждений и методы ее определения (Water availability of pine plantations and methods for its determination), *Pochvovedenie*, 1969, No. 4, pp. 46–58.
- Voronkov N.A., *Vлагооборот и влагообеспеченность сосновых насаждений* (Water cycle and water sufficiency in pine forests), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1973, 184 p.
- Vysotskii N.G., Buzulukskii bor i ego okrestnosti. Pochvenno-botaniko-lesovodstvennyi ocherk (otdel'nye ottiski iz Lesnogo zhurnala) (Buzuluksky Bor and its surroundings. Soil-botanical-silvicultural essay (selected reprints from the Forest journal)), *Lesnoi zhurnal*, 1909, No. 10, 50 p.