

УДК 502/504 : 665

Т. Е. АФОНИНА, А. Ю. ПУЗЫРЕВА, М. А. ОШИРОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского», г. Иркутск

В. Ю. ГРЕБЕНЩИКОВ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Иркутская межобластная ветеринарная лаборатория», г. Иркутск

С. Л. БЕЛОПУХОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗЕМЕЛЬ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ, НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В статье показано загрязнение земель нефтью от прорывов нефтепроводов, и последствия от этих загрязнений. Собран и проанализирован материал аварий на территории Иркутской области за 20 лет. На фактическом материале, полученном из двух крупнейших на территории Иркутской области аварийных разливах нефти, показано, что главными компонентами загрязняющих веществ в почвах являются асфальтеновые и смолистые вещества, которые трудно поддаются окислению, не поддаются разложению микроорганизмами. Эти компоненты надолго могут «запечатать» все поры почвенного покрова, лишив почву возможности свободного влагообмена и дыхания. Это, в первую очередь, приводит к полной деградации биоценоза. Процесс их распада протекает очень медленно, до сотни лет. Часть смол и асфальтенов минерализуется, другая часть уплотняется и остается в почве прочного органико-минерального комплекса. Нарушенные земли в соответствии с земельным и природоохранным законодательством должны быть восстановлены до первоначального уровня путем рекультивации.

Почвы, загрязнение, состояние земель, аварийные разливы нефтью.

The article shows the contamination of lands with oil resulted from oil pipeline breaks and the consequences of these contaminations. The material of accidents for the last 20 years on the territory of the Irkutsk region has been collected and analyzed. According to the factual material obtained from two largest accidental oil spills in the Irkutsk region it is shown that the main components of pollutants in soils are asphaltene and resinous substances which are almost not oxidized, are resistant to degradation by microorganisms. These components may for a long time «seal» all the pores of the soil cover depriving the soil of free moisture exchange and breath. This first of all leads to the full degradation of biocenosis. The process of their decay is very slow, up to a hundred of years. Part of resins and asphaltene is mineralized, the other part is compacted and remains in the soil of a solid organic-mineral complex. The broken lands in accordance with land and environmental legislation should be restored to the original level by recultivation.

Soils, pollution, soil condition, accidental spills of oil.

Загрязнение земель нефтью от прорывов нефтепроводов и последствия от этих загрязнений в настоящее время приобрели масштабы экологической катастрофы. Критическая ситуация сложилась как в районах нефтедобычи, так и в районах транспортировки нефти. По количеству магистральных трубопроводов Россия занимает второе место после США. В настоящее время в

России протяженность магистральных нефтепроводов составляет 70 тыс. километров [1].

Популярность нефтепроводов объясняется их эффективностью (они могут служить долгое время при одновременных затратах на строительство), а также дешевой транспортировки. Большинство нефтепроводов было построено в 1960–1980 гг. прошлого столетия, и в настоя-

щее время износ основных фондов магистральных трубопроводов составляет более 50 % [2]. По данным Ростехнадзора износ нефтепроводов является наиболее распространенной причиной аварий. Кроме того, причинами аварий являются и несанкционированные врезки с целью хищения нефти и нефтепродуктов.

По территории Иркутской области проходят две нитки подземного магистрального нефтепровода «Омск–Ангарск» и «Красноярск–Ангарск». Имеется продуктопровод «Ангарск–Иркутск», по которому поставляют авиационный керосин из ангарской нефтехимической

компании в Иркутский аэропорт. В 2009 г. был введен в эксплуатацию участок нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) от Усть-Кута до Тайшета, и построен трубопровод «п. Верхнемарково – Усть-Кут» [3]. Практически весь магистральный нефтепровод, проходящий в Иркутской области, проложен на землях сельскохозяйственного назначения и землях лесного фонда.

Авторами статьи была собрана и проанализирована информация об авариях, произошедших на магистральных нефтепроводах на территории Иркутской области за 20 лет (табл. 1).

Таблица 1

Наиболее крупные аварийные разливы нефти и нефтепродуктов на территории Иркутской области

Дата аварии	Место аварии	Объем вытекшей нефти и нефтепродуктов, (тонн)	Площадь загрязненной территории, (га)	Ущерб, тыс. руб.	Причина аварии
03.1993 г.	П. Тыреть, р.Унга	40 000	75	940 000	Неполадки оборудования,
03.1993 г.	Ангарский район п. Еловка.	7955	35	Нет оценки	Повреждение трубопровода
03.1995 г.	Г. Тулун, р. Курзанка	3 500	240	Нет оценки	Изношенность нефтепровода
1998 г.	Тайшетский р-н	20	Нет данных	Нет оценки	Трещина на нефтепроводе
10.1999	Куйтунский р-н, 566 км.	48	12,0	Нет оценки	Разгерметизация трубопровода
12.2001 г.	Тайшетский р-н	109	Нет данных	Нет оценки	Разгерметизация трубопровода
10.2004 г.	Зиминский р-н, п. Кимельти	5000	0,06	Нет оценки	Разрыв трубопровода
11.2005 г.	Ангарск, ТЭЦ-10	6	0,36	Нет оценки	Несанкционированная врезка
05.2006 г.	П. Непа, р.Нижняя Тунгуска	113	Нет данных	Нет оценки	Авария баржи
05.2006 г.	П. Подымахино, Усть-кутский р-н	8,15	1,2 га акватории р. Лена, 0,085 га прибрежной территории	Нет оценки	Прорыв нефтепровода
06.2006 г.	Усть-Кутский район водозабор р. Королиха	Нет данных	18	Нет оценки	Прорыв нефтепровода
10.2006 г.	П. Тельма Усольского р-н	20000	13,2	640 000	Авария
10.2006 г.	П. Биликтуй, Усольского р-н	9	0,35	Нет оценки	Несанкционированная врезка
02.2008 г.	Верхнемарково – Усть-Кут	3,0	0,5	Нет оценки	Механическое повреждение
06.2008 г.	П. Тайтурка – п. Михайловка	0,007	Нет данных	Нет оценки	Несанкционированная врезка
09.2008 г.	Р. Киренга, г. Киренск	0,061	0,04	Нет оценки	Свищ в трубопроводе
05.2011 г.	Нижнеудинский район	4,89	0,08	Нет оценки	Авария на железной дороге
09.2011 г.	Г. Иркутск, Маратовское кольцо	20	0,0192	Нет оценки	ДТП с участием бензовоза
04.2012 г.	Г. Усолье-Сибирское, р. Ангара	300	15	40000	Несанкционированная врезка
06.2012	Г. Ангарск, протока Кривая, р. Ангара	Нет данных	1,6	Нет оценки	Авария
04.2012	Г. Усолье -Сибирское	2,0	10	Нет оценки	Незаконная врезка
07.2012 г.	Г. Ангарск	Взрыв и пожар на нефтехранилище	Нет данных	1 человек погиб, 2 ранено	Нарушение правил эксплуатации
07.2012 г.	Г. Усолье-Сибирское ОАО «Усольмаш»	Нет данных	0,5 га	Нет оценки	Нарушение правил эксплуатации
09.2012 г.	Р. Киренга и р. Лена, Киренский р-н	Нет данных	Нет данных	511,325	Авария на теплоходе-нефтехранилище
02.2013 г.	Усольское лесничество, квартал № 16	Нет данных	0,17	Нет оценки	Сбой в работе оборудования
03.2013 г.	Ангарск, в районе СНТ «Лесник»	Нет данных	0,03	Нет оценки	Сброс мазута неизвестными лицами
08.2013 г.	Ангарский р-н, ЗАО «Детэко»	4075	0,21	Эвакуация 300 человек	Возгорание нефти, причина неизвестна.

Наиболее крупная авария на территории Иркутской области была в марте 1993 г. на 654 км магистрального нефтепровода «Красноярск – Иркутск», около п. Тыреть Заларинского р-на, где произошел разрыв нефтепровода из-за дефекта сварного шва, момент аварии не был своевременно зафиксирован, и на поверхность излилось более 40 тыс. тонн нефти. Нефть мигрировала в водоносный горизонт и локализовалась в 150...300 м от действующего Тыретьского хозяйственного водозабора подземных вод. Около 40 % 2-го и 3-го поясов зоны санитарной охраны водозабора оказались загрязненными нефтью. Еще около 1 тыс. тонн нефти проникло в грунты на участке заболоченной поймы р. Унги, которая постепенно мигрировала ниже по течению в хозяйственно-ценный водоносный горизонт.

В 2006 г. около п. Тельма, в урочище Топкое Усольского района на землях сельскохозяйственного назначения на 825 км нефтепровода «Красноярск–Иркутск», произошел разлив нефти из трубопровода. На поверхность излилось свыше 20 тыс. тонн нефти.

При аварийных разливах нефти происходит полная деградация почвенных экосистем, разрушается структура почвы, изменяются почвенные свойства, нарушается полностью баланс веществ в почвах. Кроме того, разливы нефти приводят к образованию битуминозных солончаков, цементации почвы, в таком случае, земля практически не подлежит восстановлению.

При аварийных разливах нефти, определяющим является химический состав, так как от химического состава нефти будет зависеть скорость ее трансформации в почвенных экосистемах. Нефть является сложным соединением и состоит из метано-нафтеновых, ароматических, полициклических, смолистых и асфальтеновых фракций. В легкую фракцию нефти (начало кипения 200 °С) входят низкомолекулярные метановые (алканы), нафтеновые (циклопарафиновые) и ароматические углеводороды (УВ). Большую часть легкой фракции составляют метановые УВ (алканы) с числом углеродных атомов C_5-C_{11} (пентан, гексан, гептан, октан, нонан, декан, ундекан). Метановые УВ легкой фракции, попадая в почвы, оказывают наркотическое и токсическое действие в целом на экосисте-

мы. Вследствие летучести и более высокой растворимости низкомолекулярных н-алканов их действие обычно не бывает долговременным. Если их концентрация не была летальной для организмов, то со временем нормальная жизнедеятельность организмов восстанавливается. С уменьшением содержания легкой фракции ее токсичность снижается, но возрастает токсичность ароматических соединений, относительное содержание которых возрастает [4].

Содержание ароматических УВ в нефтях изменяется от 5 до 55 %. Основную массу ароматических структур составляют моноядерные УВ – гомологи бензола. УВ, состоящие из двух и более ароматических колец, носят название полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), их содержание в нефтях достигает от 1 до 4 %. В нефти наиболее распространены гомологи нафталина (два кольца), также присутствуют гомологи фенантронов, бензфлуаренов, хризанов, пирена, 3,4-бензпирена. Данные о содержании 3,4-бензпирена в сырой нефти не всегда однозначны. Вместе с тем количество его резко возрастает в продуктах переработки нефти или ее горения [5]. Ароматические УВ – наиболее токсичные компоненты нефти, в концентрации всего 1 % они могут убивать все почвенные микроорганизмы [6]. Нефть, содержащая 38 % ароматических УВ, значительно угнетает рост высших растений [7].

Моноядерные УВ (бензол и его гомологи) оказывают более быстрое токсическое воздействие на организмы, чем ПАУ. ПАУ трудно поддаются окислению, наиболее устойчивы к окислению голаядерные структуры, при обычных температурах окружающей среды они практически не окисляются [4].

Смоли и асфальтены относятся к высокомолекулярным неуглеводородным компонентам нефти. В составе нефти они играют важную роль, определяя во многом ее физические свойства и химическую активность. По содержанию смол и асфальтенов нефть разделяется на малосмолистую (от 1...2 до 10% смол и асфальтенов), смолистую (10...20 %), высокосмолистую (23...10 %) [9].

Достаточных данных о токсичности смол и асфальтенов не имеется. Вредное экологическое влияние смолисто-асфальтеновых компонентов нефти на почвенные экосистемы заключается в том,

что нефть, поступая в почву, сорбируются в верхнем слое, прочно цементируя его. Эти вещества очень устойчивы к окислению микроорганизмами. Процесс их распада идет очень медленно, иногда десятки лет. Часть смол и асфальтенов частично минерализуется, другая часть уплотняется и остается в почве в виде прочного органоминерального комплекса.

Авторы статьи рассмотрели процесс трансформации нефти после аварии 1993 г. на 654 км магистрального нефтепровода «Красноярск–Иркутск» около п. Тыреть Заларинского района. Почвенные образцы отбирали в 1998 г. (спустя 5 лет после аварии на трубопроводе). Почвенные профили в количестве 10 шт. были заложены на дерново-луговых и лугово-болотных почвах в пойме р. Унги на площади 3,0 га.

Анализ нефтепродуктов в почвах проводили двумя методами. Количественный анализ нефтепродуктов выполняли по методики ПНДФ 16.1:2.2-98. Групповой или компонентный состав нефтепродуктов в почвах выполняли на жидкостном хроматографе [10, 11].

За фоновое содержание нефтепродуктов в почвах были приняты средние значения 8,0 мг/кг почвы (для дерново-луговых) и 12,0 мг/кг почвы (для лугово-болотных), установленные экспериментальным путем для идентичных почв из этого района, не подверженных загрязнению нефтью.

Концентрации нефтепродуктов в верхних (0...5; 0...7 см) горизонтах дерново-луговых почвах составляли от 480 до 688 мг/кг, в лугово-болотных почвах их концентрация была значительно выше и составляла от 1243 до 2124 мг/кг почвы. Причем во всех отобранных горизонтах почв наблюдалась тенденция увеличения концентраций в глубь почвенных горизонтов от 1344, до 7360 мг/кг почвы, что вероятно объясняется миграционными процессами по почвенным профилям (табл. 2). Также наблюдались увеличения концентраций от дерново-луговых к лугово-болотных почвам, что может быть также связано миграцией нефти по уклону местности к руслу реки. Загрязнение почв превышало фоновый уровень в 292...613 раза.

Таблица 2

Содержание нефтепродуктов в почвах поймы р. Унги

№ профиля	Горизонт отбора проб, см	Концентрация, мг/кг	Среднее значение по профилю, мг/кг
1	0...7	480	903,3
	7...25	1200	
	25...65	1030	
2	0...5	688	1090,3
	5...28	1344	
	28...68	1239	
3	0...5	800	1045,6
	5...25	1362	
	25...85	975	
4	0...5	900	1042
	5...15	956	
	15...40	1315	
	40...85	997	
5	0...7	1070	1418,8
	7...15	1400	
	15...40	1675	
	40...80	1530	
6	0...5	1243	2221,5
	5...15	1567	
	15...40	2546	
	40...80	3530	
7	0...5	843	1615,3
	5...10	1457	
	10...30	2546	
8	0...5	1123	3545,3
	5...15	4787	
	15...30	4726	
9	0...5	743	3585,3
	5...15	4927	
	15...40	5086	
10	0...5	2124	5361
	5...15	6599	
	15...40	7360	

Все проанализированные почвы из этого района имеют идентичный групповой состав. В групповом составе загряз-

ненных почв преобладают, как правило, смолистые и асфальтеновые компоненты, на долю «легких» метаново-нафтеновых

УВ приходится от 0,33 до 6,2 %, на биароматические углеводороды и ПАУ приходится также незначительное количество (от 0,75 до 9,7 %). Преобладающими компонентами являются асфальтены (до 88 %). В таблице 3 представлены результаты группового анализа нефтепродуктов

по горизонтам в профиле 5. Последующий отбор проб был произведен в июле 2012 г., т. е. через 19 лет со дня аварии. Пробы были отобраны с 25 точек послойно с двух горизонтов (0...35 и 35...55 см). Полученные результаты анализа проб почв представлены в таблице 4.

Таблица 3

Групповой состав нефтепродуктов в почве профиля 5 р. Унги

Горизонт отбора проб, см	Групповой состав почвы, %					
	Метано-нафтеновые УВ	Моноароматические УВ	Биароматические УВ	ПАУ	Смолистые в-ва	Асфальтеновые в-ва
0...7	2,1	н. о.	2,9	2,5	23,3	69,2
7...15	0,33	н. о.	1,27	1,5	9,5	87,5
15...40	0,13	н. о.	0,66	7,82	6,82	84,9
40...80	2,8	н. о.	8,9	7,5	43,2	57,6
Ср. знач. по профилю, мг/кг	1,4	н. о.	3,4	4,83	20,7	74,8

Таблица 4

Содержание нефтепродуктов в почвах п. Тыреть, 643 км магистрального нефтепровода «Красноярск – Иркутск» (место аварии)

№ точки	Концентрация (0...35, см), мг/кг	Концентрация (35...55 см), мг/кг	Концентрация по профилю, мг/кг
1	102450	476250	578701
2	88250	51300	139552
3	61750	12500	74253
4	68650	65050	133704
5	8650	10700	19355
6	3600	3156	6762
7	19700	4250	23957
8 (фон 1)	20,17	20,58	40,75
9	13600	200	13809
10	681	595	1286
11	102,5	2100	2213,5
12	7500	4300	11812
13	3000	67,5	3080,5
14 (фон 2)	44,96	54,88	99,84
15	1178,12	243,75	1436,87
16	800	800	1616
17	400	2400	2817
18	1200	400	1618
19	5600	2400	8019
20	3800	1200	5020
21	1000	3200	4221
22	3000	800	3822
23	22000	7600	29623
24	85000	191800	276824
25	51200	186600	237825

Как следует из приведенных результатов, практически через 20 лет, прошедших со дня аварии, концентрации нефтепродуктов в почвах остаются очень высокими. Это говорит о том, что климатические условия Сибири не способствуют разложению нефти. Поэтому загрязненные почвы могут быть выведены из сельскохозяйственного оборота на длительный срок.

Загрязнение почв из урочища Топкое Усольского района, где произошла авария на нефтепроводе «Красноярск–Иркутск» в 2006 г. Результаты исследований 2006–2009 гг. свидетельствовали о серьезном локальном загрязнении земельного участка ЗАО «Тельминское» на площади более 13000 м².

Исследованиями, проведенными в 2012 г., был выполнен анализ почв на общее

содержание нефтепродуктов, их групповой и молекулярный состав. Концентрации нефтепродуктов в почвах составили от 32429,0 до 85201,0 мг/кг почвы, превыше-

ние над фоном составили от 350 до 800 раз. В групповом составе загрязненных почв преобладают смолистые и асфальтеновые компоненты (табл. 5).

Таблица 5

Групповой состав загрязненных нефтепродуктами почв из урочища Топкое

№ пробы	Групповой состав почвы, %					
	Метано-нафтеновые УВ	Моно-ароматические УВ	Би-ароматические УВ	ПАУ	Смолистые в-ва	Асфальтеновые в-ва
59	12,1	н. о.	12,9	2,5	23,3	49,2
50	0,33	н. о.	1,27	1,5	29,5	67,5
52	0,13	н. о.	0,66	0,82	26,82	71,9

Такой состав подтверждается методом хромато-масс-спектрометрии, и содержатся многоядерные ароматические углеводороды с конденсированными кольцами с молекулярными массами от 350 до 600 (анализ выполнен О. И. Дошловым, профессором кафедры химической технологии химико-металлургического факультета ИрГТУ для судебной экспертизы). Кроме асфальтеновых и смолистых веществ в каждой пробе присутствуют полиароматические углеводороды, а также углеводороды, относящиеся к тяжелым нефтяным остаткам, прошедшие процесс жесткого пиролиза (пожар). В эту группу входят соединения, содержащие до 12 и более конденсированных бензольных колец в молекуле, обладающие канцерогенным действием. Среди них выделяются 9,10-диметил-1,2-бензантрацен и 20-метилхолантрен, самые сильные и наиболее хорошо изученные канцерогены. Также обнаружен 1,2- и 3,4-бензпирен, с высокой канцерогенной активностью и очень часто присутствующий в составе различных продуктов горения нефти.

Заключение

Полученный материал из двух крупнейших на территории Иркутской области аварийных разливах нефти показал, что главными компонентами загрязняющих веществ в почвах являются асфальтеновые и смолистые вещества, которые трудно поддаются окислению. При обычных температурах окружающей среды они практически не окисляются, не поддаются разложению микроорганизмами. Эти компоненты надолго могут «запечатать» все поры почвенного покрова, лишив почву возможности свободного влагообмена и дыхания. Это, в первую очередь, приводит к полной деградации биоценоза. Процесс их распада протекает очень медленно (до сотни лет). Часть смол и асфальтенов минерализуется, другая часть

уплотняется и остается в почве в виде прочного органоминерального комплекса. Нарушенные земли в соответствии с земельным и природоохранным законодательством должны быть восстановлены до первоначального уровня путем рекультивации.

1. Рябиков В. М. 50 лет истории ОАО «Трансисибнефть». Иллюстрированная летопись. – Омск.: 2004. – 252 с.

2. Агентство нефтегазовой информации [Электронный ресурс]. – URL: <http://angi.ru> (дата обращения 16.05.2015).

3. Ипполитова Н. А. Транспорт Иркутской области // Население и хозяйство Иркутской области «Вестник кафедры географии ВСГАО». – 2011. – № 4 (5).

4. Пиковский Ю. И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных геосистемах // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. – С. 7–22.

5. Бруевич Т. С. Бластомогенность продуктов переработки нефти. – М.: Медицина, 1980. – 272 с.

6. Currier H. B., Peoples S. A. Phytotoxicity of hydrocarbons // *Holgardia*. – 1954. – Vol. 23. – P. 155–173.

7. Cuille J., Blanchet B. Low-volume apraying of tropical fruits: Oil base spray products with special rewevence to their Phytotoxicity // *Fruits*. – 1958. – Vol.13. – P. 53–65.

8. Шилина А. И., Ванеева Л. В. Время жизни бенз(а)пирена в почве при многократном внесении его с частицами почвенной пыли // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах: Труды III Всесоюзн. совещ., г.Обнинск, сентябрь 1981 г. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – С. 199–202.

9. Органическая геохимия / Под ред. И. Б.Вассоевича., А. А.Карцева; вып.3. – М.: Недра, 1971. – 279 с.

10. Кудрявцева Т. П., Юдович Е. Е., Котопов Н. А. Геохимические исследования органического вещества осадков и придонных вод с помощью экспресс-методов анализа // Комплексные геохимические нефтегазопойсковые исследования субаквальных площадей. – Л.: Изд-во ВНИИГРИ Миннео СССР. – 1985. – С.52–62.

11. Галимов Э. М., Кодина Л. А. Исследования органического вещества и газов в осадочных толщах дна Мирового океана. – М.: Наука, 1982. – 228 с.

Материал поступил в редакцию 25.05.2015.

Афони́на Татьяна Евге́ньевна, доктор географических наук, профессор кафедры землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации

E-mail: bf-vni prirodi@yandex.ru

Белопухов Сергей Леонидович, доктор

сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой физической и органической химии

E-mail: beloruhov@mail.ru

Гребенщикова Виктор Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент кафедры землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации

E-mail: agroviktor@mail.ru

Пузырева Анна Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации

E-mail: anna18_01@bk.ru

Оширова Мария Артемоновна, ассистент кафедры землеустройства, кадастров и сельскохозяйственной мелиорации

E-mail: oshirovam@yandex.ru

УДК 502/504:631.671.43

Н. Н. ХОЖАНОВ, Н. Б. ИЗБАСОВ, С. Т. ДУЙСЕНБАЕВА

Таразский государственный университет имени М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЫ ПРИАРАЛЬЯ

В статье приведены материалы исследования по установлению связи между суммарным испарением и осадками в условиях природной системы Казахстана. Общеизвестно, что биологическая продуктивность агрофитоценоза зависит от обеспеченности тепловыми ресурсами, а эффект может быть реализован лишь в том случае, если почва обеспечена достаточным количеством почвенной влаги. При этом показателем обеспеченности территории ресурсами тепла, кроме суммы эффективных и активных температур является и испаряемость. Многолетние исследования в различных почвенно-климатических зонах показывают, что при разработке биоклиматического метода определения суммарного водопотребления различных культур задача сводится к поиску универсальных эмпирических зависимостей для расчета испаряемости, а к установлению и обоснованию коэффициентов, учитывающих биологическую роль растения в расходовании воды сельскохозяйственным полем в конкретных гидротермических условиях. В методике и расчетных моделях нормирования орошения на основе биоклиматического метода в качестве расчетной зависимости для определения испаряемости используется модифицированная формула Н. Н. Иванова. Предлагаемая формула определения суммарной испаряемости имеет упрощенный вид: $E_c = 100 O_c / \eta$.

Коэффициент природного увлажнения, прогнозирование, циклы изменения климата, урожайность, морковь, метеорологические данные.

The article presents materials of a study on establishment of the connection between the total evaporation and precipitation under the conditions of the natural system of Kazakhstan. It is well-known that the biological productivity of agrophytocenosis depends on the availability of thermal resources, and the effect can be realized only if the soil is provided with a sufficient amount of soil moisture. Indices of the availability of heat resources on the territory except the sum of effective and active temperatures are evaporation. Long-term studies in different soil-climatic zones show that when developing a bioclimatic method of determination of the total water consumption of different crops the task is a search of universal empirical dependences for calculation of evaporation, and to the identification and justification of the factors taking into account the biological role of plants in water use in the agricultural field in particular hydrothermal conditions. In the methodology and computational models of irrigation rationing on the basis of the bioclimatic method as the calculated dependence for determination of evaporation there is used a modified formula of N. N. Ivanov. The proposed formula for determining the total evaporation has a simplified the form: $E_c = 100 O_c / \eta$.

Desertification, land reclamation, sustainability, criteria, productivity, evaporation, precipitation.